

SKRIPSI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT DC TO DC CONVERTER DENGAN METODE PULSE WIDTH MODULATION (PWM)



Disusun Oleh:

RIDUWAN HADI SANTOSA

NIM 01. 17. 053.

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

APRIL 2008

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT DC TO DC CONVERTER DENGAN METODE *PULSA WIDTH* *MODULATION* (PWM)

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik Elektronika Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

Riduwan Hadi Santosa
01.17.053

Diperiksa dan disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Usman Djuanda, MM.
NIP.Y. 1018700143

I. Komang Somawirata, ST. MT.
NIP.P. 1030100361



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir.F. Yudi Limpraptono, MT.
NIP.Y. 1039500274

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2008**



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Riduwan H. S.
NIM : 01. 17. 053
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Masa Bimbingan : 23 Juli 2007 s/d 23 Januari 2008
Judul Skripsi : Perancangan Dan Pembuatan Alat DC to DC
Converter Dengan Metode Pulse Width
Modulation (PWM)

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 18 Maret 2008
Nilai : 77,05 B+ *Bu*



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
NIP.Y. 1018100036

PANITIA UJIAN SKRIPSI

SEKRETARIS

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP.Y. 1039500274

ANGGOTA PENGUJI

PENGUJI I

(Ir Widodo Pudji Mulyanto, MT)
NIP .Y. 1028700171

PENGUJI II

(Jaseph Dedy Irawan, ST, MT)
NIP. 132315178

ABSTRAKSI

Perancangan dan Pembuatan Alat Step-Up DC To DC Konverter Dengan Metode Pulse Width Modulation (PWM)

**Riduwan Hadi Santosa, (2008). 01. 17. 053, Teknik Elektro S.1/Electronika
Pembimbing I : Ir. Usman Djuanda, MM
Pembimbing II : I Komang Somawirata, ST. MT**

Pada pembuatan tugas akhir yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Alat Step-Up DC to DC Konverter” ini bertujuan untuk menciptakan sebuah alat yang dapat membangkitkan tegangan 6Volt sampai 15 Volt DC dari sumberdaya battrei sebesar 6 Volt DC.

Blok diagram Alat Yang dirancang terdiri dariRangkaian Multivibrator, Rangkaian Gigi-Gergaji, Rangkaian Komparator, Rangkaian Switc, Transformator Step-up dan Rangkaian Penyearah.Setelah melakukan Pengujian didapatkan tegangan Output yang dapat dibangkitkan Alat sebesar 6,3 Volt Hingga mencapai 15,8 Volt.Dengan demikian alat telah dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan.

KATA PENGANTAR

Atas Berkat Rahmat Allah Yang Maha Kuasa, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul: "*Perancangan dan Pembuatan Alat DC to DC Converter Dengan Metode Pulse Width Modulation (PWM)* "

Penyusunan skripsi merupakan syarat yang harus ditempuh mahasiswa jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik. Atas terselesaikannya Skripsi ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Abraham Lomi, MSEE. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSEE. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri di Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S1 / Elektronika.
4. Bapak Ir. Usman Djuanda, MM dan Bapak I. Komang Somawirata, ST, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, serta ilmu-ilmu yang sangat berharga sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Teman-teman yang telah membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Penulis mengharapkan adanya pengembangan dari alat ini, dan semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2008

Penyusun.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Spesifikasi Alat	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Transformator	5
2.2 Oscilator	10
2.3 Dioda Semikonduktor	11
2.3.1 Karakteristik Dioda	12

2.3.2 Sifat – Sifat Dioda	16
2.3.3 Hambatan Potensial dan Temperatur	17
2.3.4 Arus Transien	18
2.3.5 Arus Balik Jenuh	18
2.3.6 Arus Permukaan Bocor	19
2.3.7 Tegangan Kaki	20
2.3.8 Arus Maju DC Maksimum	21
2.3.9 Disipasi Daya	22
2.3.10 Rectifier Gelombang Penuh	22
2.3.11 Rectifier Jembatan	23
2.3.12 Nilai Rata – Rata dan Frekuensi Keluaran	25
2.3.13 Pendekatan Kedua dan Kehilangan Lainnya	26
2.4 Transistor	27
2.5 Transistor Sebagai Saklar	27
2.6 Rangkaian Pembanding	29
2.7 Modulasi Lebar Pulsa	30

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Spesifikasi Perencanaan	34
3.2 Perancangan Sistem	34
3.3 Rangkaian Multivibrator	36
3.4 Rangkaian Pengubah Sinyal Pulsa menjadi Sinyal Gigi Gergaji	39
3.5 Rangkaian Komparator	42
3.6 Rangkaian SWITC	44

3.7 STEP – UP Transformator	47
3.8 Rangkaian Penyearah	47
3.9 Rangkaian Pengkondisi Tegangan	48

BAB IV PENGUJIAN ALAT

4.1 Pengujian Rangkaian Multivibrator	49
4.1.1 Tujuan	49
4.1.2 Peralatan yang Digunakan	49
4.1.3 Langkah – Langkah Pengujian	50
4.1.4 Hasil dan Analisa Pengujian	50
4.2 Pengujian Rangkaian Pembentuk Sinyal Gigi Gergaji	51
4.2.1 Tujuan Pengujian	51
4.2.2 Peralatan yang Digunakan	51
4.2.3 Langkah Pengujian	52
4.2.4 Hasil dan Analisa Pengujian	52
4.3 Pengujian Rangkaian Komparator	53
4.3.1 Tujuan Pengujian	53
4.3.2 Peralatan yang Digunakan	53
4.3.3 Langkah – Langkah Pengujian	54
4.3.4 Hasil dan Analisa Pengujian	54
4.4 Pengujian Rangkaian Swite	57
4.4.1 Tujuan	57
4.4.2 Alat dan Bahan	57
4.4.3 Langkah Pengujian	57
4.4.4 Hasil dan Analisa Rangkaian	58

4.5 Pengujian Rangkaian Penyearah	58
4.5.1 Tujuan	58
4.5.2 Peralatan yang Digunakan	59
4.5.3 Langkah – Langkah Pengujian	59
4.5.4 Hasil Pengujian	60
4.6 Pengujian Rangkaian Keseluruhan	61
4.6.1 Tujuan	61
4.6.2 Peralatan yang Digunakan	62
4.6.3 Langkah – Langkah Pengujian	62
4.6.4 Hasil dan Analisa	63
4.7 Pengujian Daya Tahan Baterai	64
4.7.1 Tujuan Pengujian	64
4.7.2 Peralatan yang digunakan	64
4.7.3 Langkah Pengujian	65
4.7.4 Hasil dan Analisa	65

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagaian-Bagaian Dari Transformator	6
Gambar 2.2	Bagan Transformator	7
Gambar 2.3	a. Susunan PIN IC LM555	10
	b. Rangkaian Dasar LM555	11
Gambar 2.4	Lambang Dioda	12
Gambar 2.5	a. Rangkaian Dioda Bias Maju	13
	b. Rangkaian Dioda Bias Refres	13
Gambar 2.6	Kurva Karakteristik Dioda	14
Gambar 2.7	Rectifier Gelombang Penuh	23
Gambar 2.8	Rectifier Jembatan	24
Gambar 2.9	Lambang - lambang Transistor	27
Gambar 2.10	Transistor Sebagai Saklar	29
Gambar 2.11	Susunan PIN IC LM339	30
Gambar 2.12	Siklus Tugas Suatu Detektor	31
Gambar 2.13	Modulator Lebar Pulsa	33
Gambar 3.1	Blok Diagram DC to DC Konverter	35
Gambar 3.2	Skematik Rangkaian Multivibrator	36
Gambar 3.3	Prediksi Output dari Rangkaian Multivibrator	38
Gambar 3.4	Rangkaian Pengubah Sinyal Pulsa menjadi Gigi Gergaji	39
Gambar 3.5	Persamaan Rangkaian Pengubah Pulsa menjadi sinyal Gigi Gergaji pada saat Transistor Cut Off	40

Gambar 3.6 Sinyal Prediksi hasil Rangkaian Pengubah Sinyal Pulsa menjadi sinyal Gigi Gergaji	42
Gambar 3.7 Rangkaian Komparator	43
Gambar 3.8 Prediksi Sinyal Out-put Rangkaian Komparator	43
Gambar 3.9 Skematik Rangkaian Swite	44
Gambar 3.10 Rancangan Step-Up Transformator	47
Gambar 3.11 Perancangan Rangkaian Penyearah	48
Gambar 3.12 Rangkaian Pengkondisi Tegangan	48
Gambar 4.1 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Oscilator	50
Gambar 4.2 Gambar Hasil Pengujian Rangkaian Multivibrator	50
Gambar 4.3 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Gigi Gergaji	52
Gambar 4.4 Gambar Hasil Pengujian Pembentuk Sinyal Gigi Gergaji	52
Gambar 4.5 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Komparator	54
Gambar 4.6 Foto Sinyal Keluaran PWM saat Tegangan Refrensi sebesar 1V ..	54
Gambar 4.7 Foto Sinyal Keluaran PWM saat Tegangan Refrensi sebesar 3,18V	55
Gambar 4.8 Foto Sinyal Keluaran PWM saat Tegangan Refrensi sebesar 5V ..	55
Gambar 4.9 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Swite	57
Gambar 4.10 Hasil Sinyal Pengujian Rangkaian Swite	58
Gambar 4.11 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Penyearah	59
Gambar 4.12 a. Foto Output Sinyal Transformator	60
b. Foto Output Sinyal Penyearah	60
Gambar 4.13 Blok Diagram Pengujian Rangkaian Keseluruhan	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Rectifier Tanpa Filter	26
Tabel 4-1 Hasil Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan	63
Tabel 4-2 Hasil Pengujian Daya Tahan Baterai	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan dibidang elektronika sumberdaya listrik merupakan sumberdaya yang vital yang sangat dibutuhkan bagi setiap orang. Hal ini dikarenakan peralatan-peralatan elektronik yang ada saat ini membutuhkan sumberdaya listrik untuk dapat bekerja. Pada setiap rumah, perkantoran, pabrik-pabrik, umumnya menggunakan sumberdaya listrik dari PLN atau juga dari genset untuk dapat menjalankan alat-alat elektronik yang ada.

Pada dunia traveling atau pendakian, banyak juga menggunakan peralatan-peralatan elektronik, yang biasanya kita gunakan baterai untuk sumberdayanya, dikarenakan traveling atau pendakian adalah suatu kegiatan yang dilakukan diluar rumah dan cenderung berpindah-pindah. Jadi tidaklah mungkin kita menggunakan sumberdaya listrik dari PLN untuk menjalankan alat tersebut. Sebagai contoh peralatan traveling yang biasa digunakan adalah lampu senter, radio, radio komunikasi dan lain-lain, yang membutuhkan sumberdaya listrik 12 volt DC atau 15 volt DC yang didapat dari baterai. Pada kondisi tersebut umumnya kita menggunakan banyak baterai untuk mengatasinya.

Dengan latar belakang seperti diatas maka penulis berkeinginan untuk merancang dan membuat suatu piranti elektronika yang dapat melipatgandakan tegangan DC 6 Volt dari empat buah baterai menjadi tegangan tertentu yang lebih tinggi, agar dengan baterai 6 Volt DC sudah dapat digunakan untuk

mensuplay peralatan-peralatan elektronik yang memiliki catu tegangan sebesar 15 Volt DC. Dengan demikian penggunaan banyak baterai akan dapat digantikan dengan alat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang seperti yang dikemukakan diatas maka hal-hal yang perlu dirumuskan dalam perancangan dan pembuatan alat pelipatganda tegangan adalah :

- a) Bagaimana membuat tegangan DC menjadi tegangan AC agar dapat dinaikkan oleh sebuah transformator.
- b) Bagaimana merancang transformator agar tegangan output sesuai seperti dengan yang diharapkan.
- c) Bagaimana mengembalikan tegangan AC dari transformator menjadi tegangan DC kembali.
- d) Bagaimana merancang loop back tegangan output agar dapat mempengaruhi switching input sehingga tegangan output akan selalu stabil.

1.3 Spesifikasi Alat

Perancangan dan pembuatan alat ini adalah untuk menciptakan suatu alat step-up DC to DC konverter yang nantinya difungsikan untuk menaikkan tegangan DC dari 6 Volt menjadi 15 Volt dengan arus kurang lebih sebesar 500 mA.

1.4 Batasan Masalah

Guna dapat tercapainya apa yang menjadi tujuan pembahasan skripsi ini, maka perlu diberikan batasan-batasan dalam pembahasannya antara lain :

- a) Perancangan sebuah transformator hanya dibahas dalam segi perbandingan lilitan primer dan sekunder, namun tidak membahas fluks magnetic dan kebocoran-kebocoran yang dialami oleh sebuah transformator.
- b) Peralatan yang nantinya dibuat mendapat input dari baterai 6 Volt dan output sampai 15 Volt stabil.

1.5 Tujuan

Tujuan dari perancangan dan pembuatan alat ini adalah untuk menciptakan suatu alat step-up DC to DC konverter, yang nantinya dapat dikembangkan dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam perancangan dan pembuatan alat step-up DC to DC konverter adalah :

1. Studi literature yang diperlukan untuk mempelajari dasar teori yang berhubungan dengan topik pembahasan.
 2. Perancangan dan pembuatan alat
 - a. Perancangan alat dengan poroses :
 - Penetapan spesifikasi system yang akan dirancang.
-

- Perancangan system dengan memperhatikan data-data dan teori yang diperoleh dari studi literature.
 - Pembuatan alat.
- b. Pengujian :
- Pengujian perblok.
 - Pengujian antar blok.
 - Pengujian system secara keseluruhan.
- c. Analisa data-data hasil pengujian.
- d. Pengambilan kesimpulan hasil perencanaan, pembuatan, dan pengujian yang telah dilakukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir berjudul: “ Perancangan Dan Pembuatan Alat Step-up DC to DC Konverter Dengan Metode Pulse Width Modulation “ ini terbagi menjadi :

- BAB I Memuat Latar Belakang, Rumusan Masalah, Spesifikasi Alat, Batasan Masalah, Tujuan, Metodologi, dan Sistematika Penulisan.
 - BAB II Membahas dasar teori Transformator, Oscilator, Penyearah, Sistem transistor sebagai switch, dan Rangkaian pembanding.
 - BAB III Membahas Perancangan.
 - BAB IV Membuat Hasil Pengujian.
 - BAB V Penutup, Kesimpulan dan saran.
-

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat yang statis (stationer) yang dapat memindahkan daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya dalam frekwensi yang sama. Tegangan yang di terima dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan besar kecilnya arus dalam rangkaian. Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama (mutual induction) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet.

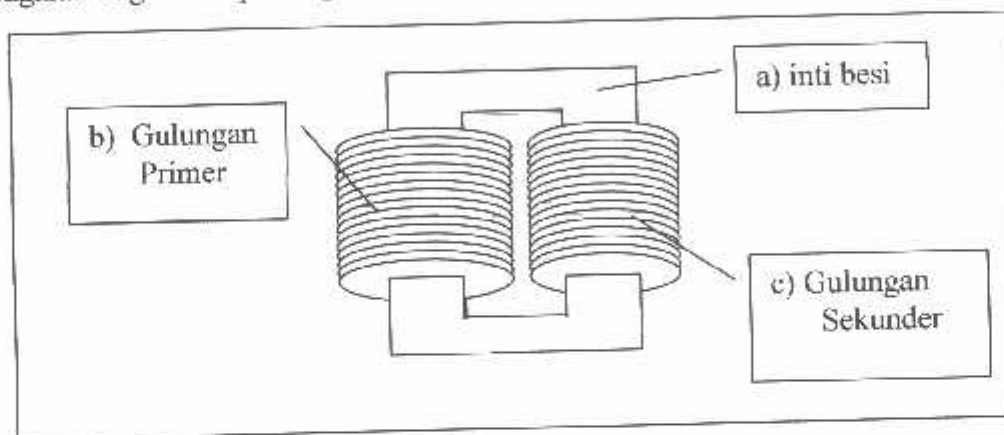
Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua kumparan induktif yang secara listrik terpisah tapi secara magnet dihubungkan oleh suatu *path* yang mempunyai reluktansi yang rendah. Kedua kumparan tersebut mempunyai *mutual induction* yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan terhadap suatu sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik akan timbul di dalam inti besi, sehingga dihubungkan dengan kumparan yang lain, dengan demikian akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGI.) induksi (sesuai dengan induksi Elektromagnet dari Hukum Farady, $e = M di / dt$). Jika rangkaian kumparan kedua dihubungkan dengan beban, arus akan mengalir dalam suatu rangkaian dan juga daya listrik ditransfer dari kumparan pertama ke kumparan kedua.

Kumparan pertama yang dihubungkan dengan sumber tegangan disebut gulungan primer, sedang kumparan yang kedua disebut kumparan sekunder.

Dengan demikian maka transformator adalah suatu alat yang:

- a) Mentransfer daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya.
- b) Bekerja tanpa suatu perubahan frekuensi.
- c) Bekerja dengan sistem induksi elektromagnet.
- d) Dimana dua rangkaian listrik berada dalam pengaruh mutual *inductive* satu sama lain.

Bagaian-bagaian terpenting dari transformator:

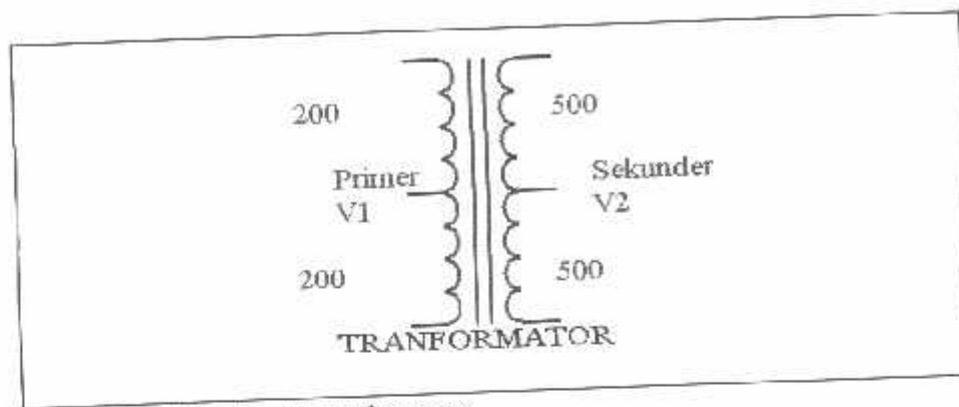


Gambar: 2.1 Bagaian-bagaian Dari Transformator

Sumber: Tcori Transformator : 1996:1

Keterangan gambar 2.1 :

- a) Inti / teras / Kern
- b) Gulungan primer, dihubungkan dengan sumber listrik
- c) Gulungan sekunder, dihubungkan dengan beban



Gambar : 2.2 Bagaian Transformator .

Sumber : Teori Transformator : 1996 : 2

Keterangan gambar 2.2 :

U_1 : Tegangan Sumber

U_2 : Tegangan Beban

I_1 : Arus Primer

I_2 : Arus Beban

e_p : GGL induksi pada kumparan primer

e_s : GGL induksi pada kumparan sekunder

N_p : Jumlah lilitan kumpara primer

N_s : Jumlah lilitan kumparan sekunder

ϕ_m : Fluks Magnet bersama (mutual fluks)

Z : Beban

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak-balik I_1 pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I_1 , menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi e_p .

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah :

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \text{ volt}$$

Dimana e_p : GGL induksi pada kumparan primer

N_p : Jumlah lilitan kumparan primer

$d\phi$: Perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber (1 weber = 10^8 maxwel)

dt : Perubahan waktu dalam satuan detik

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi e_s pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \text{ volt}$$

Dimana N_s : Jumlah lilitan kumparan sekunder

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu :

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Dimana: a nilai perbandingan lilitan transformator (turn ratio)

apabila $a < 1$, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step up transformer).

$a > 1$, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down transformer).

Fluks pada saat t dinyatakan dengan pernyataan $\phi(t) = \phi_m \sin \omega t$, (dimana ϕ_m adalah harga fluks maksimum dalam satuan weber) sehingga GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_p = -N_p \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt}$$

$$e_p = -N_p \omega \phi_m \cos \omega t$$

$$e_p = -N_p \omega \phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Dari persamaan (4) dapat dibuktikan bahwa fluks magnet fungsi sinus akan menimbulkan GGL induksi fungsi sinus. GGL induksi akan ketinggalan 90° terhadap fluks magnet.

GGL induksi kumparan primer maksimum adalah $(e_p)_{maks} = N_p \omega \phi_m$ dan besarnya tegangan efektif (e_p) dapat dihitung dengan persamaan :

$$e_p = \frac{(E_p)_{maks}}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{E_p \omega \phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{2\pi f \cdot N_p \phi_m \sqrt{2}}{2}$$

$$e_p = 3,14,1,41 f N_p \phi_m$$

$$e_p = 4,44 f \cdot N_p \phi_m$$

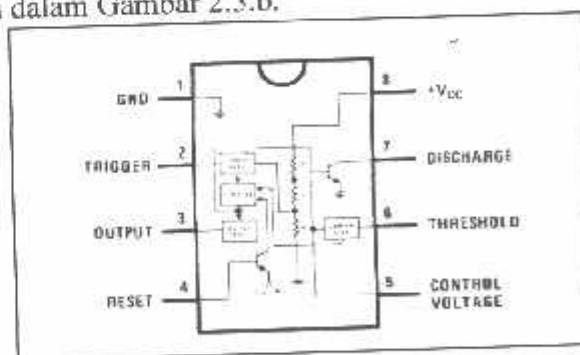
Dengan cara yang sama kan didapatkan:

$$c_s = 4,44 f \cdot N_s \phi_m$$

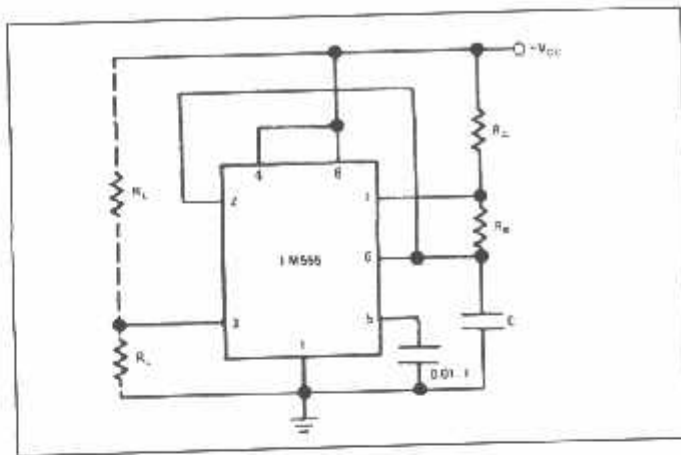
Menaikkan tegangan tidak selalu harus menggunakan tenaga dari jala-jala listrik (220VAC) tetapi dapat pula dibuat beberapa buah baterai 1,5 Volt. Penggunaan sumber tegangan rendah DC ini merupakan kendala untuk pembuatan step-up DC To DC karena memerlukan konverter tegangan yang berfungsi untuk menaikkan tegangan 6 VDC menjadi tegangan 15 VDC atau lebih.

2.2 Osilator

Osilator terbentuk dari IC LM555 dimana fungsinya untuk menghasilkan pulsa jika input trigger mendapat transisi rendah. LM555 merupakan komponen yang mempunyai kestabilan tinggi dalam pembangkitan waktu tunda atau osilator. Rangkaian ini juga mempunyai terminal tambahan untuk pentriggeran dan reset bila diperlukan. Aktivasi triger adalah pada sisi turun dari gelombang kotak. Dalam fungsi sebagai pembangkit waktu tunda, waktu sangat bergantung pada nilai resistor dan kapasitor eksternal. Susunan pin LM555 ditunjukkan dalam Gambar 2.3.a aplikasi LM555 sebagai monostable diperlihatkan dalam Gambar 2.3.b.



(a). Susunan Pin IC LM555



(b). rangkaian dasar LM555

Gambar 2.3. (a) Susunan pin LM555 (b). rangkaian dasar LM555

Sumber Nasional Data book: 9-36

Lamanya output berada pada logika tinggi ditentukan oleh persamaan $t = 1,1R.C$. Kondisi tersebut dapat diperoleh dengan memberi transisi rendah pada input trigger.

2.3 Dioda Semikonduktor

Semikonduktor merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat kehantaran listriknya berada diantara bahan isolator dan bahan konduktor. Terdapat jangkauan yang luas dari penggunaan bahan semi konduktor dalam pembuatan komponen-komponen elektronika, antara lain : silikon dan germanium (digunakan dalam pembuatan dioda, transistor, IC), gallium arsenide (digunakan dalam pembuatan LED), cadmium sulfide (sel fotokonduktif), dan timah sulfide (detector radiasi infra merah).

Dioda semikonduktor adalah piranti semikonduktor dengan dua elektroda (anoda dan katoda) dan memiliki kehantaran searah. Dioda semikonduktor pada dasarnya terdiri atas dua type, yaitu :

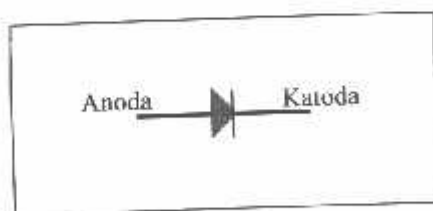
1. Dioda kontak-titik (*point-contact diode*)
2. Dioda pertemuan (*junction diode*)

Dioda kontak titik merupakan dioda semikonduktor tipe awal yang terdiri atas sebuah sungut (*whisker*) dari logam campuran yang ditekan pada bahan semikonduktor.

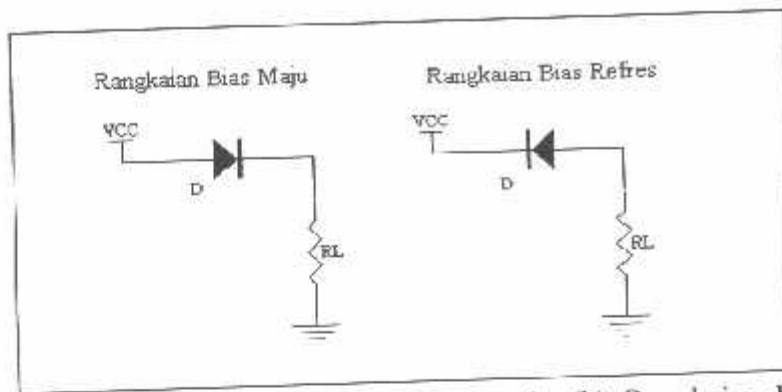
Dalam perkembangan selanjutnya, dioda kontak-titik tersebut telah diungguli oleh dioda pertemuan yang lebih kuat dan lebih mudah dibuat. Dioda pertemuan ini merupakan dioda semikonduktor yang dibuat dengan mempertemukan bahan jenis P (sebagai anoda) dan bahan jenis N (sebagai katoda). Dioda ini disebut juga dioda lapis atau dioda PN.

2.3.1 Karakteristik Dioda

Gambar 2.4 simbol dioda yang biasanya digunakan dalam rangkaian. Pada bahan jenis P dilambangkan dengan huruf A (anoda) dan bahan jenis N dilambangkan dengan huruf K (katoda).



Gambar 2.4 Lambang Dioda
Sumber : Prinsip-prinsip Elektronika : 2003 : 66



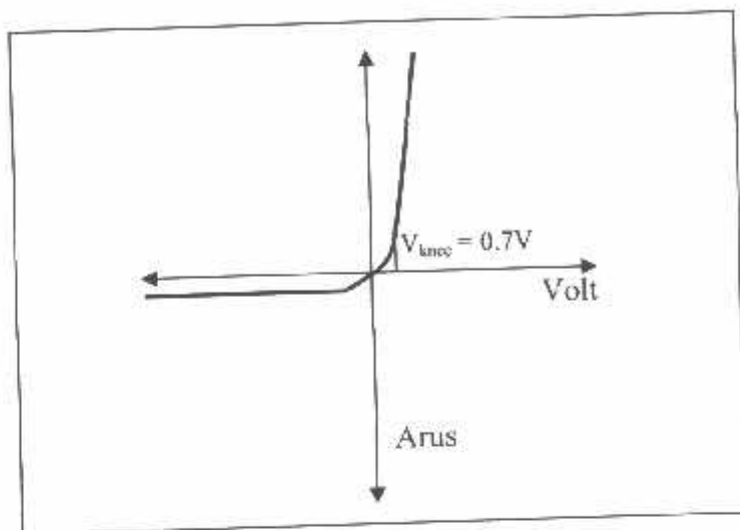
Gambar 2.5 (a). Rangkaian dioda bias maju, (b). Rangkaian dioda bias refres

Sumber : Prinsip-prinsip Elektronika : 2003 : 70

Jika dioda diberi panjaran maju (*forward bias*) seperti pada gambar 2.5.a, maka pada dioda akan terjangkit tegangan sebesar 0,7 V (Si) atau 0,3 V (Ge). Dioda bertingkah seperti saklar tertutup. Pada kondisi ini $V_R \approx E$ dan kuat arus I ditentukan oleh harga E dan R .

Apabila polaritas sumber tegangan dibalik seperti pada gambar 2.5.b, maka dioda mendapat panjaran terbalik (*reverse bias*) dan bertingkah sebagai saklar terbuka. Pada kondisi $I = 0$, $V_R = 0$, $V_D = E$, namun pada prakteknya, terdapat arus sangat kecil yang mengalir dari katoda ke anoda yang dinamakan arus terbalik atau arus bocoran (*leakage current*). Dioda germanium (Ge) akan meluluskan arus terbalik sebesar $2\mu A - 10\mu A$, sedangkan pada dioda silicon (Si) sebesar $2\text{ nA} - \text{nA}$.

Secara garis besar sifat (karakteristik) dioda pada umumnya dapat dilukiskan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Dioda

Sumber : Malvino (1994:40)

Apabila tegangan maju U_f (*forward voltage*) dibesarkan, arus maju I_f (*forward current*) naik secara perlahan-lahan hingga tegangan mencapai 0,3 V (Ge) ataupun 0,7 V (Si). Pada tegangan tersebut, arus I_f mendadak menjadi besar, sedangkan tegangan U_f boleh dikatakan tidak (sangat kecil) berubah. Tegangan 0,3 V (Ge) dan 0,7 V (Si) disebut tegangan ambang (*threshold voltage*) atau tegangan lutut (*knee voltage*).

Sebaliknya, jika tegangan terbalik U_r (*reverse voltage*) yang dikenakan pada dioda dibesarkan, maka tercapai suatu harga yang menyebabkan arus terbalik I_r (*reverse current*) naik dengan cepat sekali. Kondisi tersebut dikenal sebagai tembusan terbalik (*reverse breakdown*) dan pada kebanyakan dioda kondisi tersebut harus dihindari, karena dapat menimbulkan kerusakan. Dengan kata lain kenaikan temperatur dioda akan mengakibatkan meningkatnya konduktivitas bahan semi konduktor dioda. Perhatikan persamaan berikut ini:

$$I = I_0 (e^{\frac{V}{nV_T}} - 1)$$

$$I = I_0 (e^{\frac{V_{AK}}{nKT}} - 1)$$

Dimana :

I : arus dioda

I_0 : arus terbalik atau arus bocoran dioda

V : beda potensial antara terminal anoda-katoda dioda

n : konstanta bahan semikonduktor (Ge = 1, Si = 2)

K : Konstanta boltzaman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/F)

T : temperatur ($^{\circ}\text{K}$)

e : muatan electron ($1,602 \times 10^{-19}$ Coulomb)

e : eksponensial

Dari persamaan di atas, yaitu jika arus dioda naik, maka arus terbalik juga akan berubah naik. Sedangkan tegangan pada terminal anoda dan katoda dioda berbanding terbalik terhadap perubahan temperatur yang terjadi.

Adapun untuk mengetahui karakteristik dioda terhadap perubahan temperatur (berlaku untuk dioda germanium maupun dioda silicon), yaitu :

$$DV/dT = -2,5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

Tegangan dioda 0,3 V (Ge) dan 0,7 V (Si) berlaku dalam temperatur ruang. Apabila temperatur naik sebesar 1°C , maka akan terjadi penurunan tegangan dioda sebesar 2,5 mV. Dengan mempertahankan tegangan dioda konstan (V_D) tetap konstan, maka arus dioda akan berubah apabila terjadi kenaikan temperatur, sedangkan apabila mempertahankan arus dioda konstan (I_D) tetap konstan, maka tegangan dioda akan berubah apabila terjadi kenaikan temperatur.

Jadi dapat diketahui bahwa apabila pada tegangan dioda (V_D) dan arus dioda (I_D) akan terjadi perubahan apabila ada kenaikan temperatur.

2.3.2 Sifat – Sifat Dioda

Ada dua jenis dioda berdasarkan bahan semikonduktornya, yaitu : dioda silicon dan dioda germanium. Dalam pembuatan dan pemakaiannya, dioda silicon mempunyai prospek yang lebih baik dibandingkan dengan dioda germanium. Disamping karena silicon lebih banyak dan lebih mudah diperoleh daripada germanium, terdapat perbedaan sifat diantara kedua jenis dioda tersebut, yaitu :

a. Dioda Silikon.

- 1). Menghantar dengan tegangan maju 0,7 mV.
- 2). Perlawanan maju cukup kecil.
- 3). Perlawanan terbalik sangat tinggi ($>1 \text{ M ohm}$).
- 4). Arus maju maksimum yang diperoleh cukup besar sampai 100 A.
- 5). Arus terbalik atau arus bocoran 2 nA-10nA.
- 6). Tegangan terbalik maksimum yang dibolehkan cukup tinggi, dapat mencapai 1000 V atau lebih.
- 7). Tahan terhadap temperatur maksimum 150°C .

b. Dioda Germanium.

- 1). Menghantar dengan tegangan maju 0,3 V.
 - 2). Perlawanan maju agak besar.
 - 3). Perlawanan terbalik kurang tinggi ($<1 \text{ Mohm}$).
 - 4). Arus maju maksimum yang dibolehkan kurang besar.
-

- 5). Arus terbalik atau arus bocoran $2\ \mu\text{A}$ - $10\ \mu\text{A}$.
- 6). Tegangan terbalik maksimum yang dibolchkan kurang tinggi.
- 7). Tahan terhadap temperatur maksimum 75°C .

2.3.3 Hambatan Potensial dan Temperatur

Temperatur sambungan adalah suhu didalam dioda, sebelah kanan dari sambungan PN. Suhu ambient berbeda, ini adalah suhu udara diluar dioda, udara yang mengelilingi dioda. Ketika dioda merupakan penghantar suhu sambungan lebih tinggi dibandingkan suhu ambient sebab panas diciptakan oleh penggabungan.

Hambatan potensial tergantung pada suhu sambungan. Sebuah kenaikan dalam suhu sambungan menciptakan lebih banyak electron-elektron bebas dan lubang-lubang dacrak doped. Sebagaimana muatan menyebar kedalam lapisan deplesi, ia akan menjadi lebih sempit berarti terdapat hambatan potensial lebih sedikit dalam sebuah suhu sambungan yang lebih tinggi.

Dimana : Δ merupakan perubahan dalam

Huruf Yunani Δ (delta) menunjukkan "perubahan dalam". ΔV berarti perubahan dalam voltase. Dan ΔT berarti perubahan dalam suhu. Ratio $\Delta V/\Delta T$ berarti perubahan dalam tegangan dipengaruhi perubahan dalam suhu.

Sekarang didapat sebuah aturan untuk memperkirakan perubahan dalam hambatan potensial : *Hambatan potensial dari dioda silikon menurun 2mV pada masing-masing derajat celcius naik.*

Sebagai derivasi :

$$(\Delta V / \Delta T) = -2\text{mV}/^\circ\text{C}$$

Penyusunan kembali :

$$\Delta V = (-2\text{mV}/^\circ\text{C}) \Delta T$$

Dengan ini didapat mengalkulasi hambatan potensial dalam beberapa suhu sambungan.

2.3.4 Arus Transien

Ketika tegangan balik naik, lubang-lubang dan electron-elektron bergerak keluar dari sambungan. Selama electron-elektron bebas dan lubang-lubang bergerak keluar dari sambungan, mereka meninggalkan ion positif dan negatif dibelakangnya. Oleh karena itu lapisan deplesi menjadi lebih lebar. Bias balik lebih besar, lapisan deplesi akan menjadi lebih luas. Sambil lapisan deplesi disesuaikan dengan kelebaran barunya, sebuah arus mengalir dalam rangkaian luar. Arus transien mengurangi sampai nol setelah lapisan deplesi berhenti berkembang.

Beberapa waktu setelah arus mengalir tergantung pada waktu konstan RC dari external circuit. Hal ini terjadi dalam hal manodetik. Oleh karena itu mengabaikan efek arus transien di bawah kemungkinan 10 MHz.

2.3.5 Arus balik jenuh

Bias maju biasing merupakan sebuah dioda nail pita n dan mengijinkan electron-elektron bebas melalui sebuah sambungan. Bias balik mempunyai efek yang berlawanan. Titik pandang energi pada kejenuhan balik. Gagasan bahwa

energi panas menciptakan sebuah lubang dan elektron bebas di dalam lapisan deplesi. Elektron bebas pada A dan lubang pada B sekarang dapat membantu ke arus balik. Sebab bias balik tersebut, elektron bebas akan bergerak ke kanan mendorong secara efektif sebuah elektron bebas keluar dari ujung kanan dari diode. Begitu juga lubang-lubang akan bergerak kekiri. Ekstra lubang pada sisi p membiarkan sebuah electron memasuki ujung kiri kristal.

Suhu sambungan yang lebih tinggi, maka kejenuhan arus semakin besar. Sebuah kemungkinan yang berguna untuk mengingat yaitu : I_s double untuk masing-masing 10°C naik seperti dibawah ini :

Persen $\Delta I_s = 100\%$ untuk sebuah 10° kenaikan

Dengan demikian perubahan dalam arus jenuh adalah 100% untuk masing-masing 10° naik dalam suhu. Jika perubahan suhu kurang dari 10°C , anda dapat menggunakan aturan persamaannya :

Persen $\Delta I_s = 7\%$ per $^\circ\text{C}$

Dengan demikian, perubahan arus jenuh adalah 7 persen untuk masing-masing tingkat celcius. Pemecahan 7 % ini merupakan kemungkinan tertutup dari aturan 10 derajat.

2.3.6 Arus Permukaan Bocor

Gagasan bahwa atom-atom permukaan kristal, sejak atom-atom tidak mempunyai neighbors, mereka hanya mempunyai enam electron-elektron pada orbit valensi, termasuk dua lubang pada masing-masing permukaan atom. Visualisasi lubang-lubang tersebut melalui permukaan kristal. Kemudian anda

dapat melihat bahwa kulit kristal seperti sebuah semikonduktor tipe p. Oleh karena itu, elektron-elektron dapat masuk ke ujung kiri kristal, berjalan melalui permukaan lubang dan meninggalkan ujung kanan kristal. Dalam hal ini kita mendapatkan sebuah arus balik melalui permukaan.

Arus permukaan bocor merupakan proporsional langsung ke tegangan balik. Oleh karena itu, jika Anda menggandakan tegangan balik, arus permukaan bocor *ISL* doubles. Dengan demikian dapat mendefinisikan daya tahan kebocoran

permukaan sebagai berikut : $R_{SL} = \frac{V_R}{I_{SL}}$

2.3.7 Tegangan Kaki

Dalam daerah maju, tegangan pada saat arus mulai naik secara cepat disebut dengan tegangan kaki (*knee voltage*) dari dioda. Tegangan ini sama dengan tegangan penghalang. Analisis rangkaian dioda biasanya menentukan apakah tegangan dioda lebih besar atau lebih kecil dari tegangan kaki. Apabila lebih besar, maka dioda akan menghantar dengan mudah. Jika lebih kecil, maka dioda tidak menghantar dengan baik. Kita mendefinisikan tegangan kaki untuk dioda silikon.

Meskipun dioda germanium jarang digunakan dalam rancangan, anda mungkin masih menjumpai dioda tersebut dalam rangkaian-rangkaian khusus atau pada peralatan yang lama. Untuk alasan ini, ingat bahwa tegangan kaki suatu dioda germanium adalah sekitar 0,3 V. Dengan tegangan yang lebih rendah ini adalah merupakan keuntungan dan penyebab pemakaian dioda germanium pada aplikasi tertentu.

Diatas tegangan kaki, arus dioda akan membesar secara cepat. Ini berarti bahwa pertambahan yang kecil pada tegangan dioda akan menyebabkan perubahan yang besar pada arus dioda. Setelah tegangan penghalang terlampaui, yang menghalangi arus adalah hambatan ohmic daerah p dan n. Dengan perkataan lain, apabila daerah p dan n merupakan 2 keping semi penghantar yang terpisah, maka masing-masing akan memiliki hambatan yang dapat diukur dengan ohm meter, sama halnya dengan hambatan biasa. Jumlah dari hambatan ohmic disebut dengan hambatan bulk dioda. Hambatan tersebut didefinisikan sebagai :

$$R_B = R_p + R_N$$

Hambatan bulk tersebut tergantung pada besar daerah p dan n, dan berapa banyak daerah tersebut diberi suntikan. Seringkali hambatan bulk lebih kecil dari 1Ω .

2.3.8 Arus Maju Dc Maksimum

Apabila arus pada suatu dioda terlalu besar, maka panas yang berlebihan dapat merusak dioda. Karena alasan inilah, lembar data pembuat menyebutkan arus maksimum yang dapat dilalui dengan aman tanpa memperpendek usia atau menurunkan karakteristik dioda. Arus maju maksimum merupakan salah satu batas maksimum yang diberikan pada lembar data. Arus ini ditulis sebagai I_{max} , $I_{(max)}$, I_o , dan lain-lain, tergantung pada pembuat. Sebagai contoh sebuah 1N456 memiliki batas arus maju maksimum 135 mA. Ini memiliki arti bahwa dioda dapat mengalirkan secara aman arus maju sebesar 135mA.

2.3.9 Disipasi Daya

Anda dapat menghitung disipasi daya sebuah dioda sama dengan yang anda lakukan pada hambatan. Disipasi daya tersebut merupakan perkalian antara tegangan dan arus.

Rumusnya :

$$P_D = V_D I_D$$

Rating daya merupakan daya maksimum yang dapat dilepas secara aman tanpa memperpendek usia dioda atau merusak sifat-sifat dioda tersebut.

Disimbolkan :

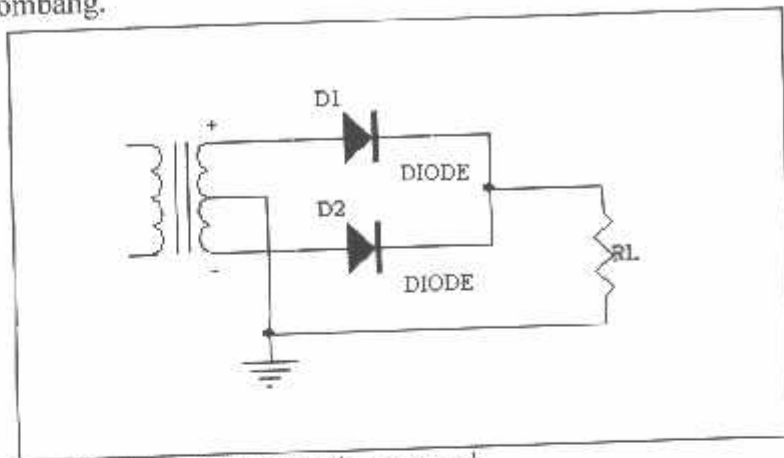
$$P_{\max} = V_{\max} I_{\max}$$

Dimana V_{\max} merupakan tegangan yang bersesuaian dengan I_{\max} . sebagai contoh tegangan dan arus maksimum 1 V dan 2 A, maka rating dayanya adalah 2 W.

2.3.10 Rectifier Gelombang Penuh

Gambar 3.7 menunjukkan sebuah rangkaian rectifier gelombang penuh. Perhatikan grounded center tap sekunder winding. Rectifier gelombang penuh equivalent dengan dua kali rectifier setengah gelombang rectifier. Sebab pusat tap masing-masing rectifier mempunyai sebuah tegangan masukan yang equal dengan setengah tegangan sekunder. Dioda D1 menghantar keputaran setengah positif dan dioda D2 menghantar keputaran setengah negatif. Sebagai hasilnya, arus beban rectifier mengalir selama setengah putaran bersama-sama. Rectifier gelombang

penuh berbuat sama dengan dua kali bolak-balik pada rectifier setengah gelombang.



Gambar 2.7. Rectifier gelombang penuh

Sumber : Prinsip-prinsip Elektronika : 2003 :100

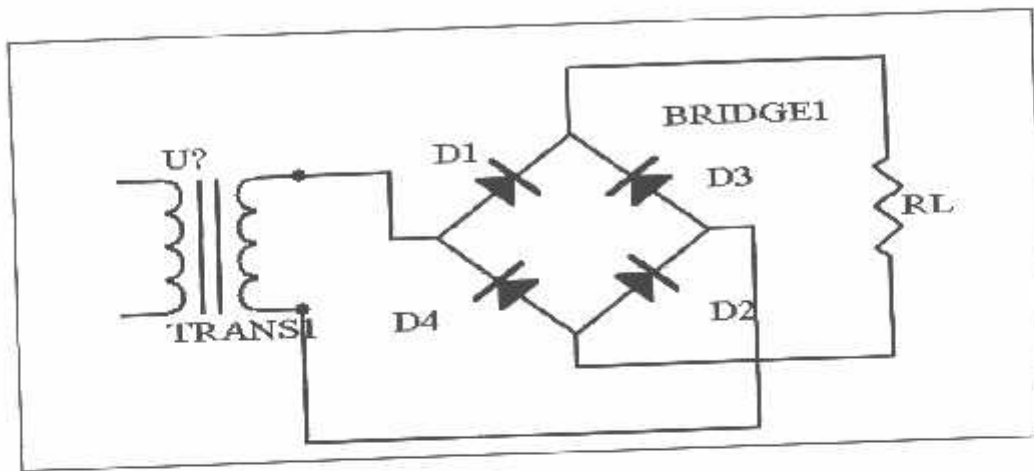
pada putaran maju setengah positif. Seperti anda lihat D1 merupakan putaran maju dibiaskan. Maka akan menghasilkan sebuah tegangan beban positif yang diindikasikan dengan polarity plus-minus melalui resistor beban. Pada putaran setengah negatif. Saat ini D2 merupakan bias maju. Seperti yang anda lihat, ia juga menghasilkan sebuah tegangan beban positif.

Selama kedua putaran setengah, tegangan beban mempunyai polarisasi yang sama dan arus beban berada dalam satu arah. Rangkaian ini disebut sebuah rectifier gelombang penuh sebab mengganti tegangan masukan AC ke pulsating (debaran, getaran)

2.3.11 Rectifier Jembatan

Gambar 2.8a menunjukkan sebuah rangkaian rectifier jembatan. Rectifier jembatan menyerupai rectifier gelombang penuh sebab ia memproduksi tegangan keluaran gelombang penuh. Dioda-dioda D1 dan D2 menghantar di atas

setengah putaran positif dan D3 dan D4 menghantar di atas setengah putaran negatif. Sebagai hasilnya arus beban rectifier mengalir selama diantara setengah putaran.



Gambar 2.8. Rectifier jembatan

Sumber : Prinsip-prinsip Elektronika : 2003 :104

Pada putaran setengah positif, seperti yang anda lihat pada D1 dan D2 merupakan bias dimajukan. Ini menghasilkan sebuah tegangan beban positif yang diindikasikan dengan polaritas puls-minus melalui resistor beban. Seperti memory aid, memvisualisasikan D2 yang memendek. Kemudian rangkaian yang diisyaratkan merupakan sebuah rectifier setengah gelombang yang sudah kita kenal.

Pada putaran setengah negatif. Saat ini D3 dan D4 merupakan forward bias. Ia menghasilkan sebuah tegangan beban positif, jika anda memvisualisasikan D3 pendek., rangkaian kelihatan seperti sebuah rectifier setengah gelombang. Sehingga rectifier jembatan berlaku seperti dua kali bolak-balik rectifier setengah gelombang.

Selama diantara setengah putaran beban mempunyai polaritas yang sama, dan arus beban dalam keadaan satu arah. Rangkaian telah mengganti tegangan masukan AC ke tegangan keluaran DC.

2.3.12 Nilai rata-Rata Dan Frekuensi Keluaran

Karena sebuah jembatan rectifier menghasilkan sebuah keluaran gelombang penuh, persamaan untuk nilai rata-rata dengan frekwensi keluaran sama seperti yang diberikan untuk sebuah rectifier gelombang penuh :

$$V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi}$$

dan

$$f_{keluar} = 2f_{keluar}$$

Nilai rata-rata adalah 63,6 % dari nilai puncak, dan frekwensi keluaran adalah 120 Hz. Diberikan sebuah frekwensi saluran 60 Hz. Satu keuntungan sebuah rectifier jembatan adalah bahwa semua tegangan sekunder digunakan sebagai masukan pada rectifier. Diberikan transformer yang sama, kita akan mendapatkan dua sebanyak tegangan puncak dan dua sebanyak tegangan dc dengan sebuah rectifier jembatan dengan rectifier gelombang penuh. Penggandaan tegangan keluaran dc mengkompensasi penggunaan dua extra dioda. Aturannya, kita akan tahu bahwa rectifier jembatan menggunakan lebih banyak dibandingkan rectifier gelombang penuh.

Kadang-kadang rectifier gelombang penuh digunakan beberapa tahun sebelum rectifier jembatan digunakan. Dengan alasan tersebut, ia mempunyai nama rectifier setengah gelombang meskipun sebuah rectifier jembatan juga

mempunyai sebuah keluaran gelombang penuh. Untuk membedakan rectifier gelombang penuh dari rectifier jembatan beberapa literatur menyatakan bahwa sebuah rectifier gelombang penuh sebagai sebuah rectifier gelombang penuh konvensional, sebuah rectifier gelombang penuh dua dioda, atau sebuah rectifier gelombang penuh center tapped.

2.3.13 Pendekatan Kedua Dan Kehilangan Lainnya

Karena rectifier jembatan mempunyai dua dioda pada bagian penghantar, tegangan keluaran puncak diberikan oleh :

$$2d \text{ jembatan : } V_{p(keluar)} = V_{p(masuk)} - 1,4 \text{ V}$$

Seperti yang anda lihat, kita harus mengurangi dua dioda turun dari puncak untuk mendapat nilai tegangan beban yang lebih akurat. Tabel 4-1 meringkas tiga rectifier dan kemampuannya.

Table 2-1 Rectifier Tanpa Filter

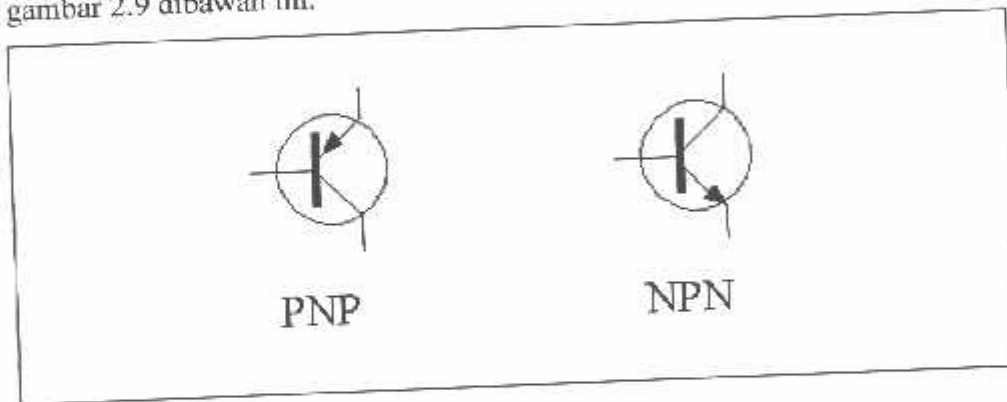
	Setengah glb	Gelombang penuh	Jembatan
Nama-nama dioda	1	2	3
Masukan rectifier	$V_{p(2)}$	$0,5 V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Keluaran puncak (ideal)	$V_{p(2)}$	$0,5 V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Keluaran puncak (2d)	$V_{p(2)} - 0,7 \text{ V}$	$0,5 V_{p(2)} - 0,7 \text{ V}$	$V_{p(2)} - 1,4 \text{ V}$
Keluaran DC	$V_{p(keluaran)}/\pi$	$2V_{p(keluaran)}/\pi$	$2V_{p(keluaran)}/\pi$
Frekuensi Ripple	f_{masuk}	$2f_{masuk}$	$2f_{masuk}$

Keterangan: $V_{p(2)}$ = puncak tegangan sekunder; $V_{p(keluar)}$ = puncak tegangan keluar.

2.4 Transistor

Transistor merupakan salah satu komponen elektronika dengan terminal yang terdiri dari kolektor (C), Basis (B) dan Emitter (E). Setelah bahan semikonduktor dasar diolah, terbentuklah bahan semikonduktor jenis P dan N. Walaupun proses pembuatannya banyak, pada dasarnya transistor merupakan tiga lapis gabungan kedua jenis bahan tadi, yaitu NPN dan PNP.

Simbol sirkuit kedua jenis bahan tersebut hampir sama, perbedaannya hanya terletak pada arah panah di ujung emitter. Arah panah ini menunjukkan arah aliran arus konvensional yang berlawanan arah dalam kedua jenis tadi. Adapun lambang komponen transistor NPN maupun PNP dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9. Lambang-lambang Transistor

Sumber : Malvino :1986 :124

2.5 Transistor Sebagai Saklar

Suatu transistor dalam sistem kerjanya mengalami keadaan saturasi dan titik sumbat. Dengan demikian jika transistor digunakan sebagai saklar maka hubungan saklar ini terjadi antara kolektor dan emitor dari transistor tersebut.

Sedangkan buka dan tutup saklar itu ditentukan oleh suatu tegangan yang diberikan pada basisnya.

a. Saklar terbuka

Jika $V_B = 0V$, $I_B = 0V$, maka transistor dalam keadaan titik sumbat sehingga tidak ada arus yang mengalir dari saklar dalam keadaan terbuka.

b. Saklar Tertutup

Untuk mengembalikan saklar dalam keadaan tertutup maka harus diberikan V_{input} pada V_B dan arus pada basis, sehingga keadaan transistor menjadi saturasi, dimana perpotongan dari garis beban dan kurva $I_B = I_{B(sat)}$. Keadaan ini seperti sebuah switch yang tertutup.

Jika transistor dikerjakan pada keadaan saturasi ($v_{ce} = 0,7v$), maka antara kolektor dan emiter akan terhubung dengan cepat atau dengan kata lain saklar dalam keadaan tertutup. Adapun besarnya arus basis yang diperlukan untuk rangkaian ini dapat dicari melalui persamaan:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

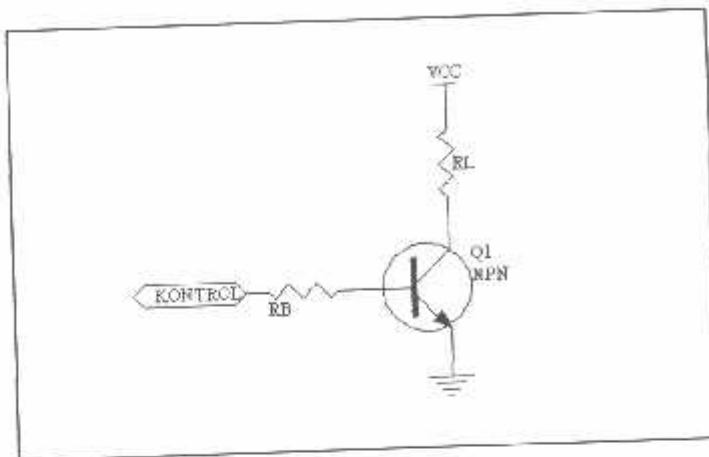
Maka nilai R_B didapatkan sebagai berikut:

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$

Jika arus kolektor yang mengalir terlalu banyak, transistor akan menuju ke kondisi jenuh. Secara ideal terjadi suatu hubungan singkat antara terminal kolektor dan emitor, dengan arus kolektor jenuh sebesar (Malvino, 1991).

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

Rangkaian transistor switch dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Transistor sebagai saklar.

Sumber : Prinsip-prinsip Elektronika, Hal 129

2.6 Rangkaian Pembanding

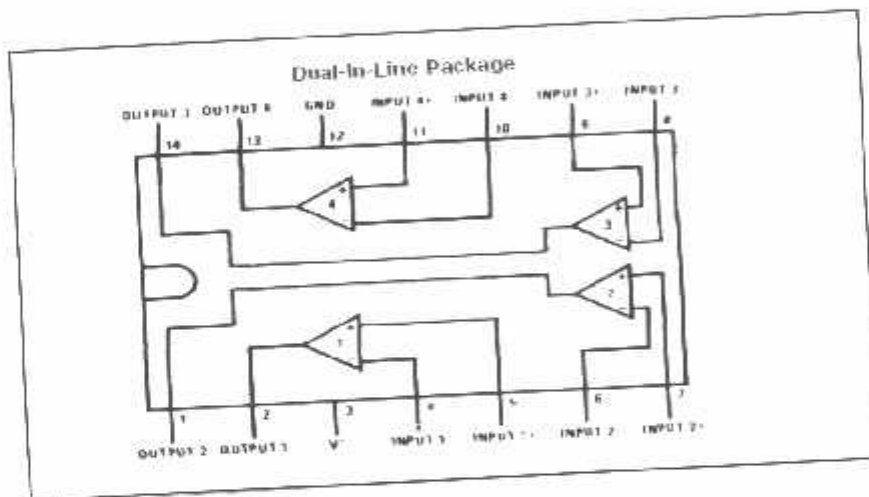
Rangkaian pembanding adalah suatu rangkaian yang terbuat dari IC LM339 yang telah dirancang dan dioptimalkan untuk penampilan unggul dalam pemakaian-pemakaian detector taraf-tegangan. Sebuah pembanding harus cepat yaitu keluarannya harus menanggapi dengan cepat perubahan-perubahan pada masukannya.

Sebuah model IC LM339 dapat dilihat pada gambar 2.11. LM339 adalah pembanding tegangan yang mempunyai arus masukan yang lebih dari 100 kali lebih rendah dari piranti IC pembanding lainnya, misalnya IC LM306 atau LM701C. Pembanding ini juga dirancang untuk beroperasi pada jangkauan tegangan suplay lebih besar dari suplay OPAMP yaitu kurang lebih 15 Volt standart dan turun sampai 5 Volt dengan catu tunggal yang bisa digunakan untuk IC logic.

Ciri-ciri utamanya IC LM 339 adalah :

1. Arus masukan maksimum sebesar 250 nA.
2. Arus offset maksimum sebesar 40 nA.
3. Jangkauan tegangan masukan diferensial kurang lebih 30 V.
4. Pemakaian daya sebesar 135 mW pada tegangan sebesar 15V.

Baik masukan maupun keluaran dari IC LM 339 dapat diisolasikan dari ground sistemnya, dan keluarannya dapat mendorong beban yang diacukan ke ground, suplay positif atau suplay negatifnya.



Gambar 2.11 Susunan Pin IC LM339

Sumber : National Semiconductor, 3-21

2.7 Modulasi Lebar Pulsa

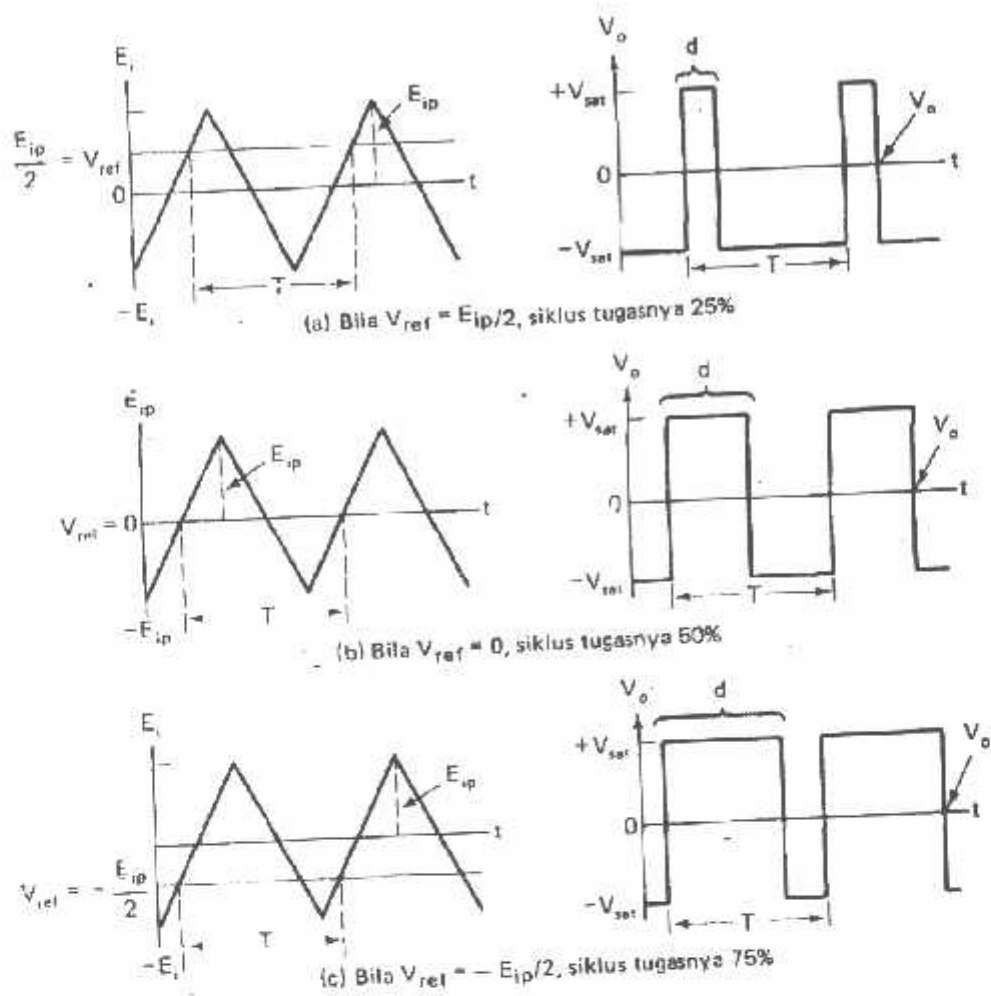
Satu cara memancarkan informasi atau data dari satu titik ke titik lain adalah dengan mengirimkan *gelombang pembawa*. Pembawa tersebut dinamakan demikian karena membawa data. Jika gelombang pembawa itu merupakan deretan denyut berfrekwensi dan beramplitudo tetap, maka terdapat tiga cara pembebanan

periode T dari gelombang itu juga tetap ($T=1/f$). E_i diterapkan ke masukan (+) nya dan mempunyai harga puncak E_{ip} .

V_{ref} diterapkan ke masukan (-) nya dan sekarang dianggap sebagai isyarat datanya. Maka V_o akan menunjukkan siklus tugas sebesar 25%. Jika isyarat data V_{ref} dikurangi sampai 0 V, maka V_o akan mempunyai siklus tugas sebesar 50% dalam gambar 2-12(b). Akhirnya jika V_{ref} negatif dan sama dengan $E_{ip}/2$, maka siklus tugasnya naik sampai 75% dalam gambar 2-13(c).

Gambar 2-13 memperlihatkan bahwa siklus tugas D , dan karenanya lebar denyut d sebanding dengan isyarat data V_{ref} . Lebar denyut d dapat dicari dari :

$$d = DT$$



Gambar 2-13 Sebuah modulator lebar pulsa dibuat dengan menerapkan suatu gelombang segitiga (amplitudo dan frekwensi tetap) ke masukan (+) dari sebuah pembanding dan mengubah-ubah tegangan acuan pada masukan (-) nya.

Sumber : Penguat Operasional, 27 - 29

BAB III

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini membahas tentang perencanaan dan pembuatan alat. Pembahasan berupa blok secara umum, kemudian dilanjutkan dengan penjelasan secara terinci bagian-bagian dari blok diagram. Perencanaan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras saja. Perangkat keras dirancang terdiri dari rangkaian Multivibrator dengan frekuensi 700 Hz, Rangkaian pengubah sinyal pulsa menjadi sinyal Gigi gergaji, Komparator, Rangkaian Switch, Perancangan Step-Up Traformator, Rangkaian penyearah dan Rangkaian Pengkondisi tegangan.

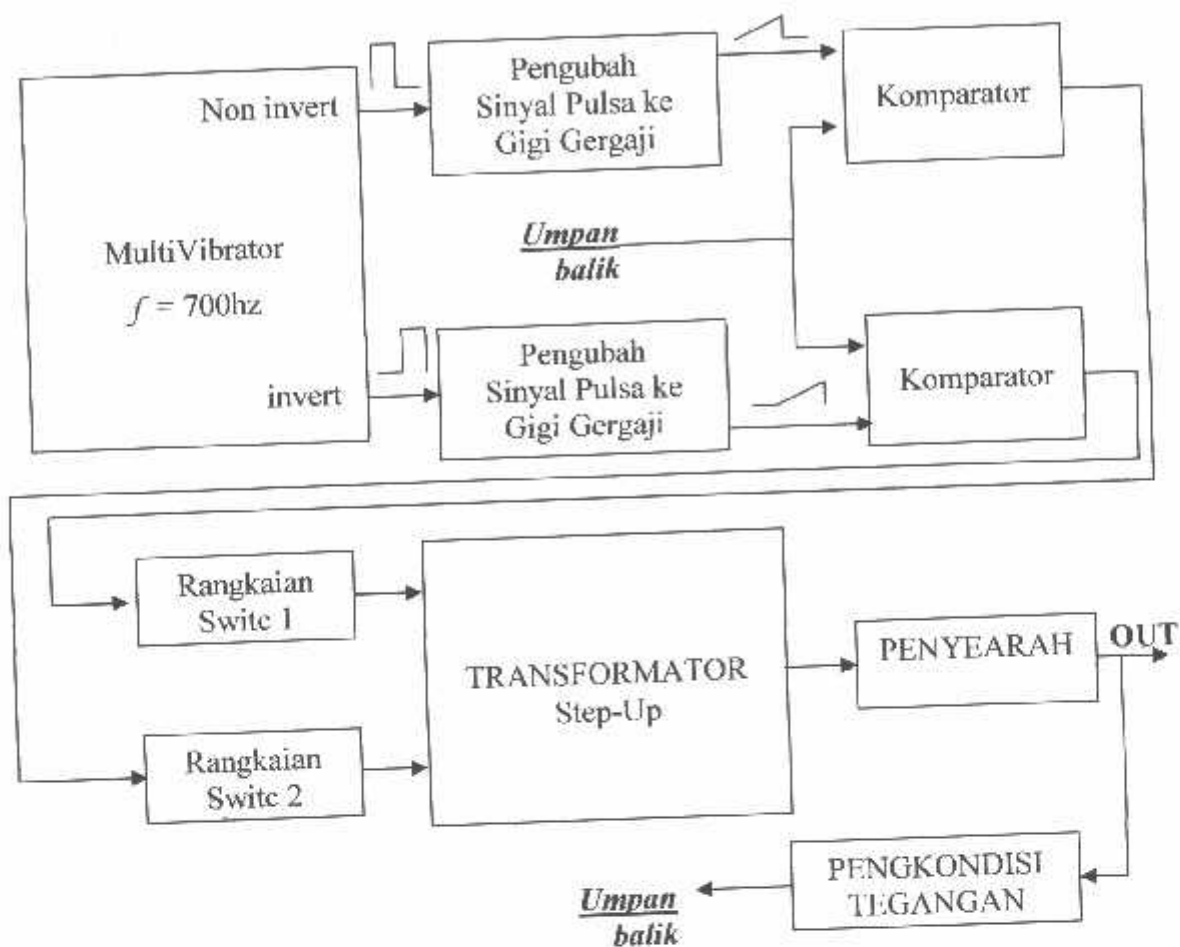
3.1 Spesifikasi Perencanaan

Spesifikasi alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut :

1. DC to DC converter yang dirancang dapat mengubah tegangan 6 V DC menjadi 15 V DC.
2. DC to DC converter yang dirancang diharapkan dapat mensupply beban dengan arus maksimal sebesar 500 mA.
3. DC to DC converter yang dirancang menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulasi) dalam pengontrolan tegangan output.

3.2 Perancangan Sistem

Dari perencanaan alat DC to DC Konverter ini, maka dibuatlah diagram blok alat pada Gambar 3.1.



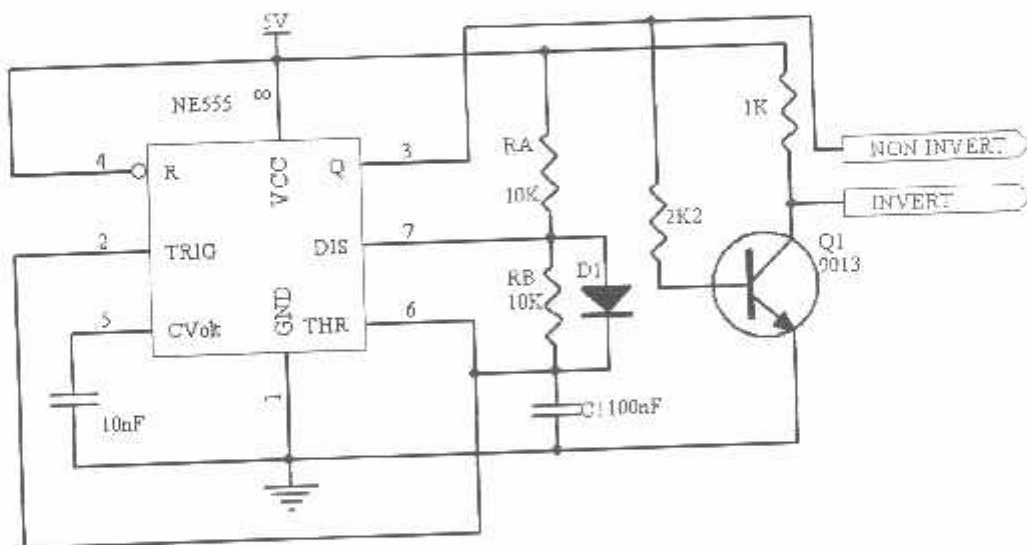
Gambar 3.1. Blok Diagram DC to DC Konverter.

Pada perancangan alat ini Multivibrator membangkitkan sinyal pulsa dengan frekuensi sebesar 700 Hz. Multivibrator ini memiliki 2 buah output, yaitu invert dan non invert. Sinyal pulsa yang dibangkitkan oleh multivibrator di ubah menjadi sinyal dalam bentuk gigi gergaji oleh rangkaian pengubah. Setelah itu sinyal gigi gergaji diterima oleh komparator dan dibandingkan dengan umpan balik dari tegangan output, hasil dari perbandingan komparator merupakan sinyal PWM dengan frekuensi sebesar 700 Hz. Output sinyal PWM ini akan menggerakkan rangkaian Swite 1 dan rangkaian Swite 2 secara bergantian sehingga terbentuk sinyal AC pada lilitan primer transformator. Lilitan sekunder

dari Transformator diharapkan mampu meningkatkan tegangan sampai sebesar 15 volt AC. Tegangan AC tersebut disearahkan menjadi tegangan DC oleh rangkaian penyearah. Untuk kepentingan umpan balik dari rangkaian ini ditambahkan sebuah rangkaian pengkondisi tegangan.

3.3. Rangkaian Multivibrator

Rangkaian Multivibrator berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa dengan frekuensi 700 hz. Rangkaian Multivibrator yang dirancang memiliki 2 buah output yaitu output invert (membalik) dan output non invert (tak membalik). Gambar rangkaian multivibrator dirancang sebagai berikut :



Gambar 3.2. Skematik Rangkaian Multivibrator.

Agar multivibrator menghasilkan frekuensi sebesar 700 Hz maka penentuan nilai-nilai komponen dapat dihitung sebagai berikut.

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 \quad (3.1)$$

dengan

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,7 \times (RA + RB) \times C_1 \\ t_2 &= 0,7 \times RB \times C_1 \end{aligned} \quad (3.2)$$

keterangan :

t_1 : Waktu siklus pengisian kapasitor C1

t_2 : Waktu siklus pengosongan kapasitor C1

Dengan rancangan skematik pada Gambar 3.2. Diode D1 dibias maju pada saat siklus pengisian kapasitor C1. Ini menyebabkan nilai $RB \approx 0$, sehingga t_1 pada persamaan 3.2 menjadi berikut :

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,7 \times (RA + 0) \times C_1 \\ t_1 &= 0,7 \times RA \times C_1 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Pada saat siklus pengosongan kapasitor C1, Diode D1 dibias balik sehingga nilai $RB \neq 0$. dengan demikian nilai perumusan t_2 tetap seperti persamaan (3.2).

Pada saat perancangan rangkaian multivibrator nilai frekuensi yang diinginkan adalah sebesar 700hz. Nilai RA dan RB dibuat sama ($RA = RB$), dan nilai C1 ditentukan sebesar 100nF. Maka nilai RA / RB dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2$$

$$T = \frac{1}{700} = (0,7 \times RA \times C_1) + (0,7 \times RB \times C_1)$$

$$1428,6 \times 10^{-6} = (0,7 \times RA \times C_1) + (0,7 \times RB \times C_1)$$

jika $RA = RB = R$ maka...

$$1428,6 \times 10^{-6} = 2 \times 0,7 \times R \times C_1$$

$$1428,6 \times 10^{-6} = 1,4 \times R \times 100 \times 10^{-9}$$

$$\frac{1428,6 \times 10^{-6}}{1,4 \times 100 \times 10^{-9}} = R$$

$$R = \frac{1428,6 \times 10^{-6}}{140 \times 10^{-9}}$$

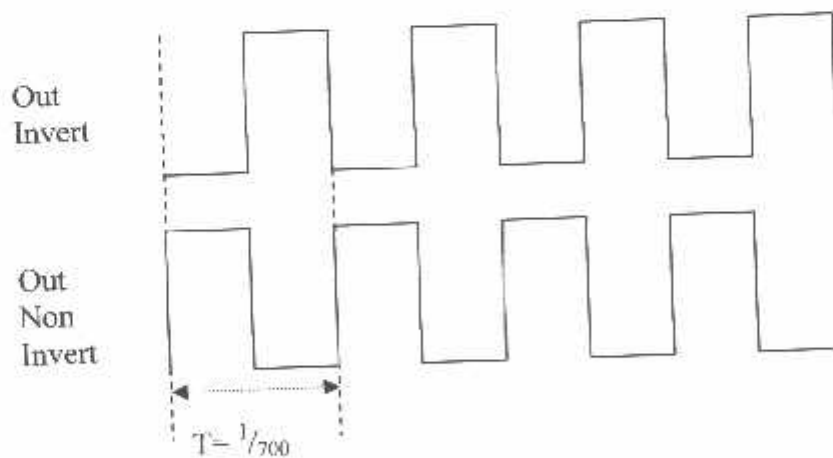
$$R = 10,2 \times 10^3$$

$$R = 10200 \text{ ohm}$$

(3.4)

Karenan nilai R sebesar 10200 ohm tidak terdapat dipasaran digunakan nilai resistansi terdekat yaitu sebesar 10K ohm.

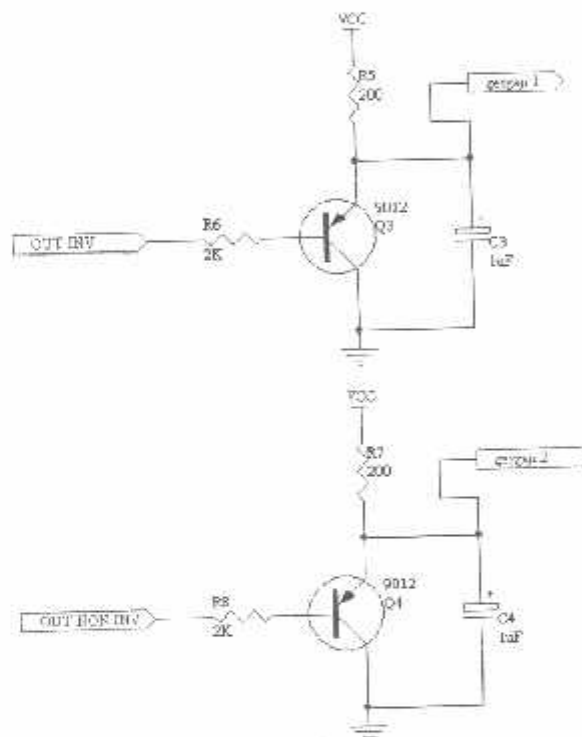
Dengan kombinasi nilai dan rangkaian seperti Gambar 3.2 output **invert** dan **non-invert** diprediksi memiliki bentuk sebagai berikut:



Gambar 3.3. Prediksi Output dari Rangkaian Multivibrator.

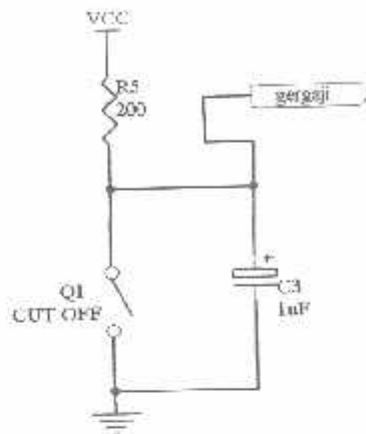
3.4. Rangkaian Pengubah Sinyal Pulsa menjadi Sinyal Gigi Gergaji

Pada bagian ini berfungsi untuk merubah sinyal dalam bentuk pulsa menjadi sinyal dalam bentuk gigi gergaji. Pembentukan sinyal dalam model gigi gergaji bertujuan agar sinyal pulsa yang dihasilkan oleh multivibrator dapat dimodulasi secara PWM (Pulse Width Modulation) oleh bagian komparator. Skematik rangkaian pengubah sinyal pulsa menjadi sinyal gigi gergaji digambarkan sebagai berikut



Gambar 3.4. Rangkaian Pengubah sinyal pulsa menjadi gigi gergaji.

Proses kerja rangkaian Gambar 3.4 diatas adalah sebagai berikut: Pada saat basis transistor mendapat logika II dari rangkaian Multivibrator maka transistor Q3 atau Q4 akan cut off dan persamaan rangkaian digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.5. Persamaan Rangkaian pengubah pulsa menjadi sinyal gigi gergaji pada saat transistor cut off.

Dengan persamaan rangkian seperti Gambar 3.5 maka nilai pengisian Kapasitor C3 dirumuskan sebagai berikut :

$$T = 5 \times R_5 C_3 \quad (3.5)$$

$$\frac{1}{f} = 5 \times R_5 C_3$$

Dengan nilai frekuensi multivibrator sebesar 700 hz dan nilai $C_3 = C_4$ ditentukan sebesar 1uF, maka nilai $R_5 = R_7$ adalah :

$$\frac{1}{f} = 5 \times R_5 C_3$$

$$\frac{1}{700} = 5 \times R_5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$R_5 = \frac{1}{700 \times 5 \times 1 \times 10^{-6}} \quad (3.6)$$

$$R_5 = \frac{1}{3500 \times 10^{-6}}$$

$$R_5 = 0,000286 \times 10^{-6}$$

$$R_5 = R_7 = 286 \text{ ohm}$$

Nilai R sebesar 286 tidak terdapat dipasaran oleh karena itu digunakan nilai terdekat sebesar 200 ohm. Dengan $R_5 = R_7$ adalah 200 ohm dan Vcc yang digunakan sebesar 6 Volt, maka I_C transistor adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 I_C &= \frac{V_{cc}}{R_3} \\
 I_C &= \frac{6}{200} \\
 I_C &= 0,03 \\
 I_C &= 30mA
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Berdasarkan pengukuran Transistor 9012 yang digunakan memiliki hfe sebesar 100, maka nilai I_B adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 I_C &= hfe \times I_B \\
 30 \times 10^{-3} &= 100 \times I_B \\
 I_B &= \frac{30 \times 10^{-3}}{100} \\
 I_B &= 0,3 \times 10^{-3} \\
 I_B &= 300 \mu A
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

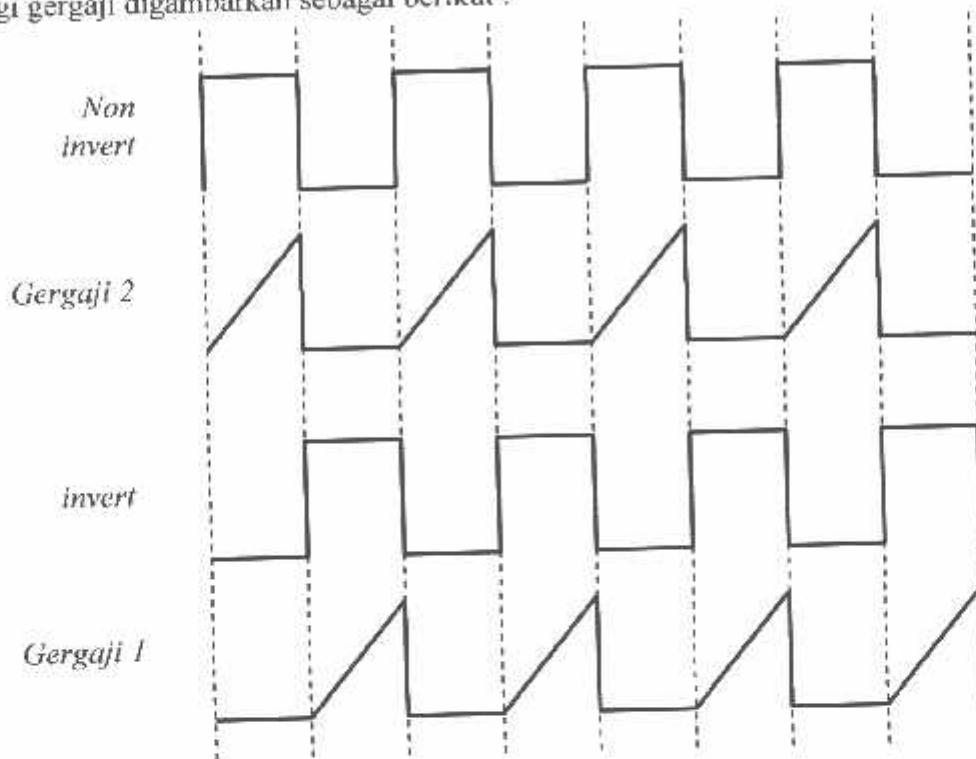
Agar transistor bisa menjadi hard saturasi nilai $I_{B \text{ real}}$ harus 10 X lebih besar dari hasil perhitungan I_B .

$$\begin{aligned}
 I_{B \text{ real}} &= 10 \times I_B \\
 I_{B \text{ real}} &= 10 \times 300 \times 10^{-6} \\
 I_{B \text{ real}} &= 3000 \times 10^{-6} \\
 I_{B \text{ real}} &= 3mA
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Dengan tegangan pulsa pada saat H adalah sebesar 6 Volt ,maka untuk mencapai nilai $I_{B \text{ real}}$ sebesar 3 mA nilai R_B adalah

$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{V_{\text{pulsa H}}}{I_{B \text{ real}}} \\
 R_B &= \frac{6}{3 \times 10^{-3}} \\
 R_B &= 2 \text{ K ohm}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Sehingga pada saat input rangkaian pengubah pulsa menjadi sinyal gigi gergaji mendapat input H maka transistor menjadi saturasi dan Tegangan pada output menjadi L. Prediksi hasil rangkaian pengubah sinyal pulsa menjadi sinyal gigi gergaji digambarkan sebagai berikut :

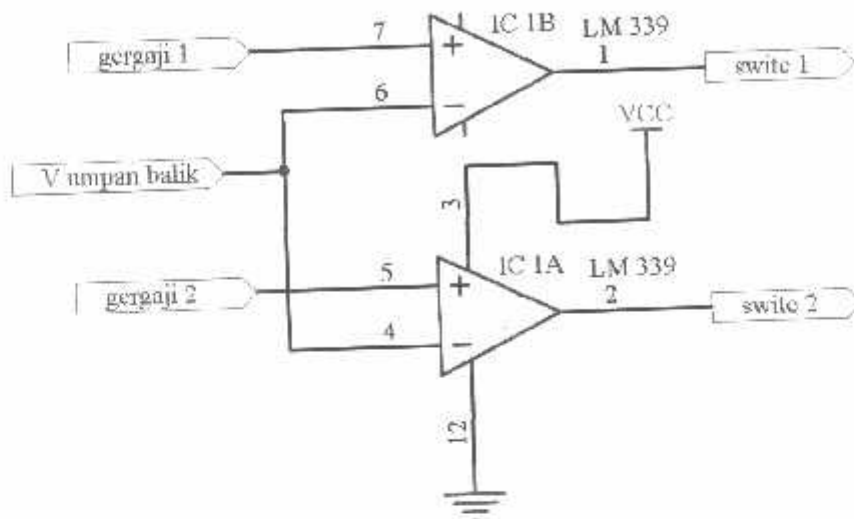


Gambar 3.6. Sinyal Prediksi hasil rangkaian pengubah sinyal pulsa menjadi sinyal gigi gergaji.

3.5. Rangkaian Komparator

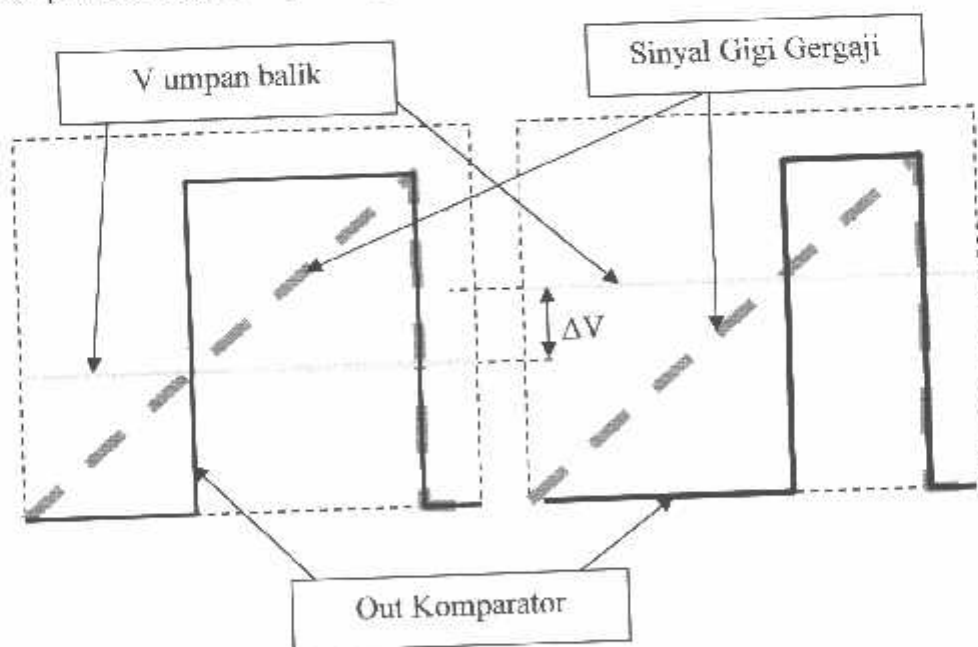
Rangkaian Komparator berfungsi untuk membentuk modulasi lebar pulsa berdasarkan kondisi umpan balik dari tegangan output. Pembentukan sinyal modulasi pulsa bertujuan untuk mengatur besarnya daya listrik pada bagian primer transformator.

Rangkaian Komparator ini dirancang menggunakan IC LM339. IC LM 339 ini memiliki 4 buah komparator dalam 1 paket IC namun hanya digunakan 2 buah komparator dalam perancangan.



Gambar 3.7. Rangkaian Komparator

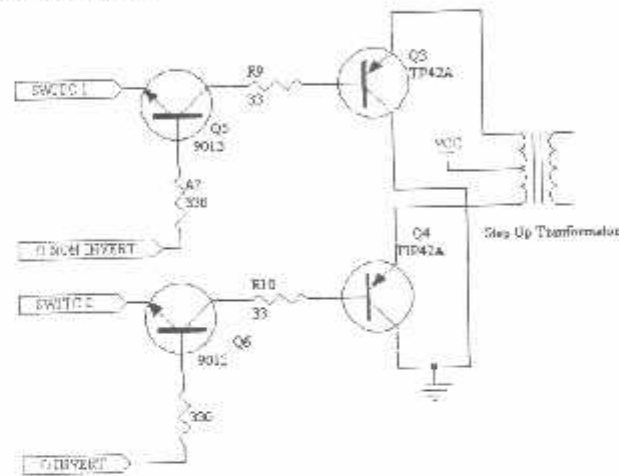
Output rangkaian Komparator merupakan sinyal kotak dengan lebar pulsa yang beragam berdasarkan tinggi tegangan dari *V umpan balik*. Semakin tinggi nilai tegangan *V umpan balik* semakin pendek pulsa H muncul dalam 1 periode. Gambar prediksi signal output rangkaian komparator ditunjukkan Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Prediksi sinyal Output Rangkaian Komparator.

3.6. Rangkaian SWITC

Rangkaian Swite ini berfungsi untuk mengontrol arah aliran listrik yang melewati transformator sehingga tercipta tegangan bolak-balik pada lilitan primer transformator. Rangkaian Swite ini terdiri dari 2 buah transistor jenis PNP(Q3 dan Q4), dan 2 buah transistor jenis NPN (Q5 dan Q6). Gambar skematik rangkaian Swite adalah sebagai berikut:



Gambar 3.9. Skematik Rangkaian Swite.

Dalam perancangan digunakan jenis transistor PNP TIP 42 yang memiliki nilai I_C maksimal sebesar 2 Ampere. Sangat mungkin untuk mengontrol Transformator dengan I_{max} sebesar 500mA. Nilai komponen untuk R_9 dan R_{10} ditentukan sebagai berikut :

Dalam pengukuran perbandingan lilitan primer dari transformator adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{N_{primer}}{N_{sekunder}} &= \frac{I_{sekunder}}{I_{primer}} = \frac{V_{primer}}{V_{sekunder}} \\
 \frac{N_{primer}}{N_{sekunder}} &= \frac{I_{sekunder}}{I_{primer}} = \frac{6}{15} \\
 \frac{N_{primer}}{N_{sekunder}} &= \frac{I_{sekunder}}{I_{primer}} = \frac{2}{5}
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

Dengan perbandingan tersebut, maka jika diinginkan $I_{sekunder}$ transformator sebesar 500 mA maka I_{primer} adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 \frac{I_{sekunder}}{I_{primer}} &= \frac{2}{5} \\
 5 \times I_{sekunder} &= 2 \times I_{primer} \\
 5 \times 500 \times 10^{-3} &= 2 \times I_{primer} \\
 I_{primer} &= \frac{2500 \times 10^{-3}}{2} \\
 I_{primer} &= 1250 \times 10^{-3} \\
 I_{primer} &= 1250 \text{ mA}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Karena I_{primer} juga I_C , dan hfe transistor TIP 42A terukur sebesar 70 maka I_B

Transistor adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 I_C &= hfe \times I_B \\
 1250 \times 10^{-3} &= 70 \times I_B \\
 I_B &= \frac{1250 \times 10^{-3}}{70} \\
 I_B &= 17,85 \times 10^{-3} \\
 I_B &= 17,85 \text{ mA}
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

Agar transistor dapat menjadi hard saturasi nilai $I_{B \text{ Real}} = 10 \times I_B$ dengan demikian $I_{B \text{ Real}} = 178,5 \text{ mA}$, Dengan tegangan picu pulsa saat H adalah sebesar 6 volt, Maka nilai R_B adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{V_{pulsat}}{I_{B\text{ Real}}} \\
 R_B &= \frac{6}{178,5 \times 10^{-3}} \\
 R_B &= 33\text{ohm}
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

Arus $I_{B\text{ Real}}$ merupakan arus I_C bagi transistor NPN. Pada perancangan kali ini digunakan transistor NPN dengan tipe 9013. Basis transistor NPN ini dikontrol langsung melalui output invert dan non invert dari rangkaian multivibrator. Maka arus control dari komparator akan berpengaruh pada saat sinyal pulsa multivibrator H. Perhitungan nilai R_B transistor NPN di hitung sebagai berikut :

Diketahui dalam perhitungan nilai hfe transistor C9013 adalah sebesar 100

$$\begin{aligned}
 I_C &= hfe \times I_B \\
 178,5 \times 10^{-3} &= 100 \times I_B \\
 I_B &= \frac{178,5 \times 10^{-3}}{100} \\
 I_B &= 178,5 \times 10^{-5} \\
 I_B &= 1785 \mu A
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

Untuk menjadikan hard saturasi nilai I_B haruslah 10X dari nilai perhitungan. Dengan tegangan basis yang bersumber dari output multivibrator sebesar 6 volt maka :

$$\begin{aligned}
 VB &= I_B \times 10 \times R_B \\
 6 &= 1785 \times 10^{-6} \times 10 \times R_B \\
 R_B &= \frac{6}{17850 \times 10^{-6}} \\
 R_B &= 336,1\text{ ohm}
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

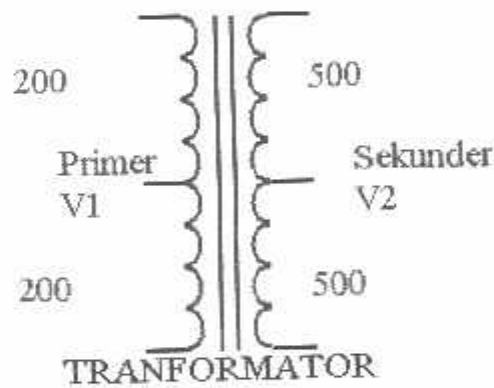
Untuk nilai resistansi terdekkan dari 336,1 Ohm adalah sebesar 330 ohm.

3.7. STEP UP Trannsformator.

Transformator berfungsi untuk meningkatkan tegangan 6 VAC menjadi 15 VAC. Transformator tersebut di rancang memiliki titik CT pada lilitan primer dan sekunder. Jika nilai lilitan primer transformator ditentukan sejumlah 200 lilit maka lilitan skunder adalah sebanyak:

$$\begin{aligned} \frac{N_{primer}}{N_{sekunder}} &= \frac{V_{primer}}{V_{sekunder}} \\ \frac{200}{N_{sekunder}} &= \frac{6}{15} \\ \frac{200}{N_{sekunder}} &= \frac{2}{5} \\ 200 \times 5 &= 2 \times N_{sekunder} \\ N_{sekunder} &= 500 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Rancangan Step-Up Transformator digambarkan sebagai berikut :

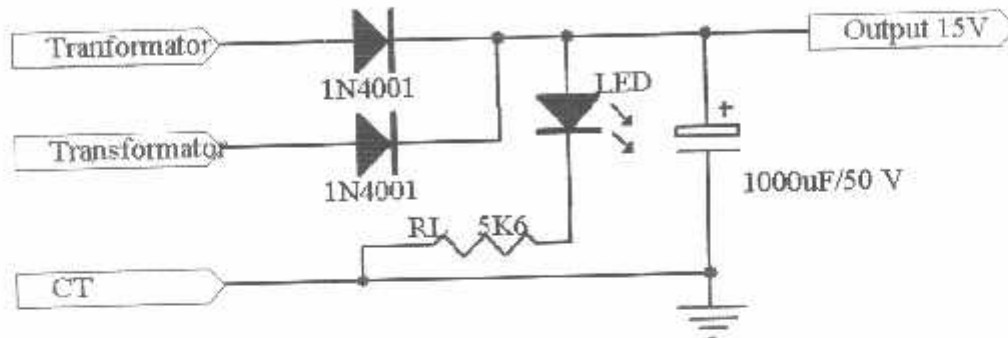


Gambar 3.10. Rancangan Step Up Transformator.

3.8. Rangkaian Penyearah

Rangkaian Penyearah berfungsi sebagai pengubah tegangan AC dari Transformator menjadi tegangan DC. Rangkaian Penyearah terdiri dari 2 buah diode sebesar 1 A yang tersusun sejajar. Dan sebuah C sebesar 1000uF/50V guna

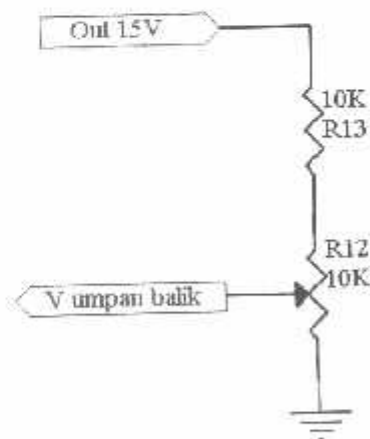
memperkecil ripple tegangan output. Rangkaian juga dilengkapi sebuah LED sebagai penanda bahwa system sedang aktif. Gambar Rangkaian penyearah adalah sebagai berikut :



Gambar 3.11. Perancangan Rangkaian Penye:

3.9. Rangkaian Pengkondisi Tegangan

Rangkaian pengkondisi tegangan berfungsi untuk mengatur besarnya tegangan umpan balik yang digunakan untuk mengontrol modulasi lebar pulsa guna mendapatkan tegangan output yang diinginkan yaitu sebesar 15 volt. Gambar Rangkaian Pengkondisi Tegangan dirancang sebagai Berikut:



Gambar 3.12. Rangkaian pengkondisi tegangan

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Dalam bab ini akan membahas mengenai pengujian alat yang telah dirancang dan dibuat, di mana tujuan pengujian alat yang telah dibuat adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat berjalan sesuai dengan apa yang diharapkan. Secara umum tujuan dari pengujian alat ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui proses kerja dari masing-masing rangkaian (per blok).
2. Memudahkan perawatan dan perbaikan apabila terjadi kerusakan pada alat yang telah dibuat.

4.1. Pengujian Rangkaian Multivibrator

4.1.1. Tujuan

Tujuan dari pengujian rangkaian osilator adalah untuk mengetahui output dari rangkaian osilator, apakah sudah sesuai dengan yang dirancang. Output Rangkaian multivibrator ini menghasilkan sinyal pulsa dengan frekuensi 700hz.

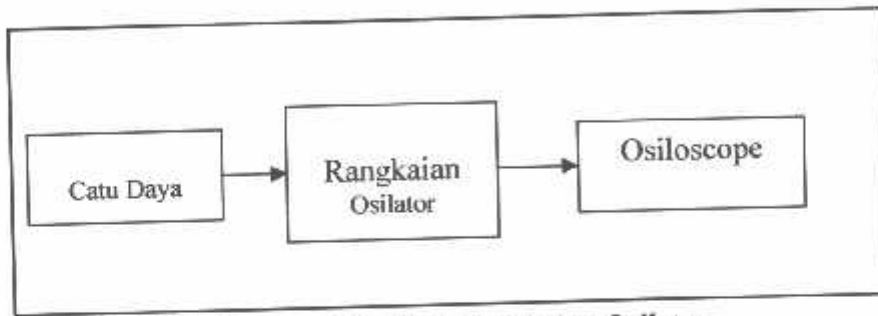
4.1.2. Peralatan yang digunakan

- Catu daya
- Osiloscope
- Rangkaian Multivibrator

4.1.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Rangkaian dihubungkan seperti gambar 4.1.
2. Berikan catu daya 6 Volt.
3. Mencatat hasil keluaran osilator yang ditampilkan pada oscilloscope.

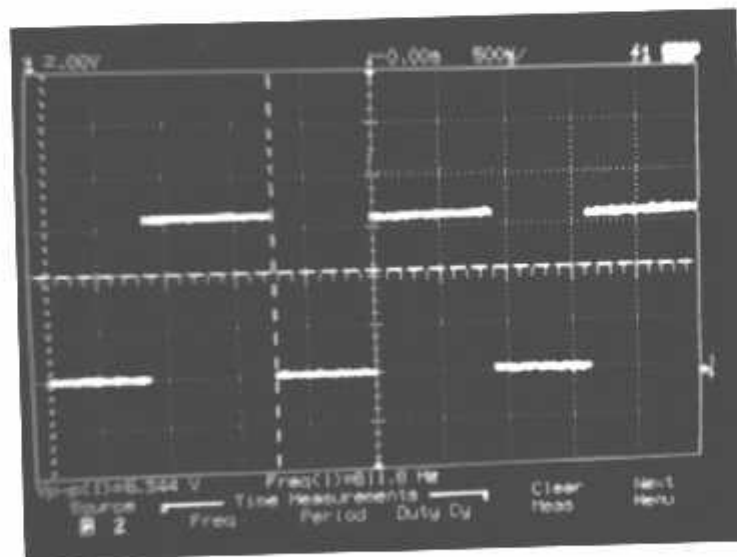
Secara diagram blok langkah pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1. Blok diagram pengujian Rangkaian Osilator

4.1.4. Hasil dan Analisa Pengujian

Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada foto keluaran osilator pada oscilloscope.



Gambar 4.2. Gambar hasil pengujian rangkaian Multivibrator.

Dari hasil pengujian dengan osiloskop diketahui bahwa :

$$V_{p-p(1)} = 6.344 \text{ V}$$

$$\text{Freq(1)} = 611.6 \text{ Hz}$$

$$\text{Volt/div} = 2.00 \text{ V/div}$$

$$\text{Time/div} = 500 \text{ ms/div}$$

Berdasarkan hasil pengamatan output frekuensi dari rangkaian multivibrator terdapat kesalahan sebesar :

$$|error| = \frac{611 - 700}{611 + 700} \times 100\% = 6,7\% \quad (4,1)$$

Dengan hasil frekuensi dengan tingkat error diatas dimungkinkan terjadi akibat tingkat toleransi setiap komponen. Namun tidak begitu berpengaruh terhadap unjuk kerja alat.

4.2. Pengujian Rangkaian Pembentuk sinyal Gigi Gergaji

4.2.1. Tujuan Pengujian

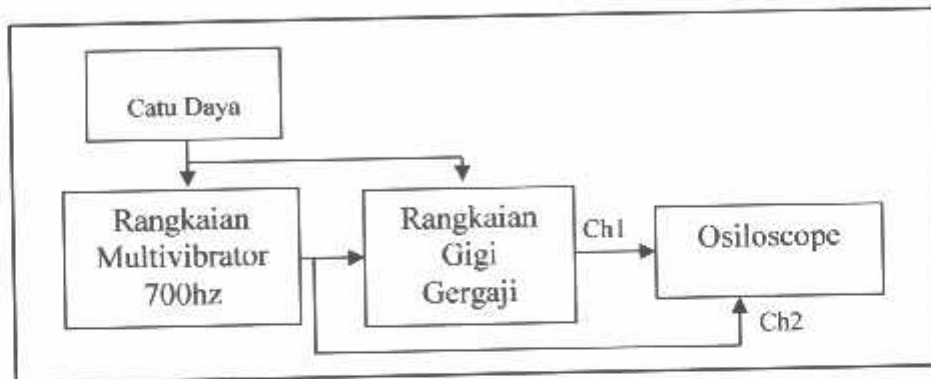
Tujuan dari pengujian rangkaian pembentuk sinyal Gigi Gergaji adalah untuk mengetahui bentuk sinyal output gigi gergaji berdasarkan input yang dari rangkaian multivibrator.

4.2.2. Peralatan yang digunakan

1. Catudaya
 2. Rangkaian Multivibrator yang telah dirancang
 3. Osiloskop
-

4.2.3. Langkah Pengujian

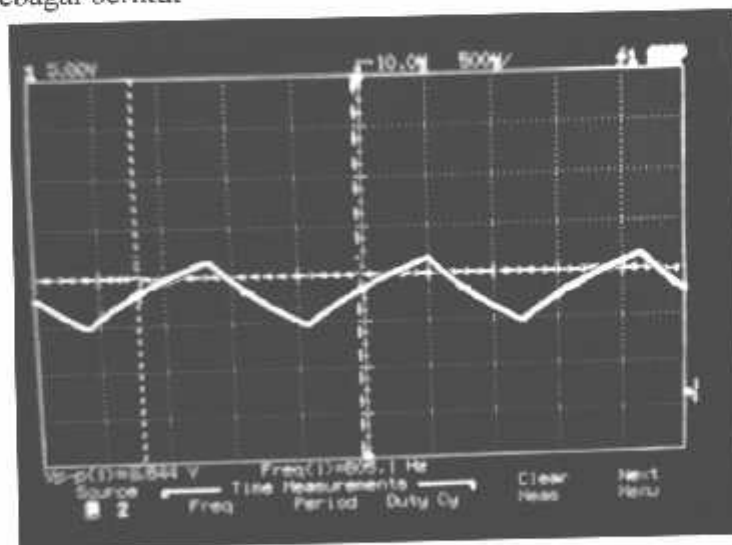
1. Rangkaian dihubungkan seperti gambar 4.2.
2. Berikan catu daya 6 Volt.
3. Mencatat hasil keluaran rangkaian gigi gergaji yang ditampilkan pada oscilloscope.



Gambar 4.3. Blok diagram pengujian Rangkaian Gigi Gergaji

4.2.4. Hasil dan Analisa Pengujian

Gambar hasil tampilan rangkaian Pengubah sinyal Gigi Gergaji ditunjukkan sebagai berikut



Gambar 4.4. Gambar hasil pengujian Pembentuk sinyal Gigi Gergaji

Dari hasil pengujian dengan osiloskop diketahui bahwa :

$$V_{p-p(1)} = 5.644 \text{ V}$$

$$Freq(1) = 611.6 \text{ Hz}$$

$$Volt/div = 5.00 \text{ V/div}$$

$$Time/div = 500 \text{ ms/div}$$

Dari gambar hasil pengujian pembentuk gigi gergaji menunjukkan bahwa rangkaian dapat merubah bentuk sinyal pulsa menjadi bentuk sinyal gigi gergaji. dengan frekuensi sama dengan frekuensi multivibrator namun mengalami penurunan tegangan V_p hingga sebesar 5,6 volt.

4.3. Pengujian Rangkaian Komparator

4.3.1. Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian Rangkaian komparator adalah untuk mengetahui apakah rangkaian komparator yang dibuat dapat berkerja sesuai dengan yang direncanakan. Output rangkaian ini adalah keluaran PWM berdasarkan input referensi.

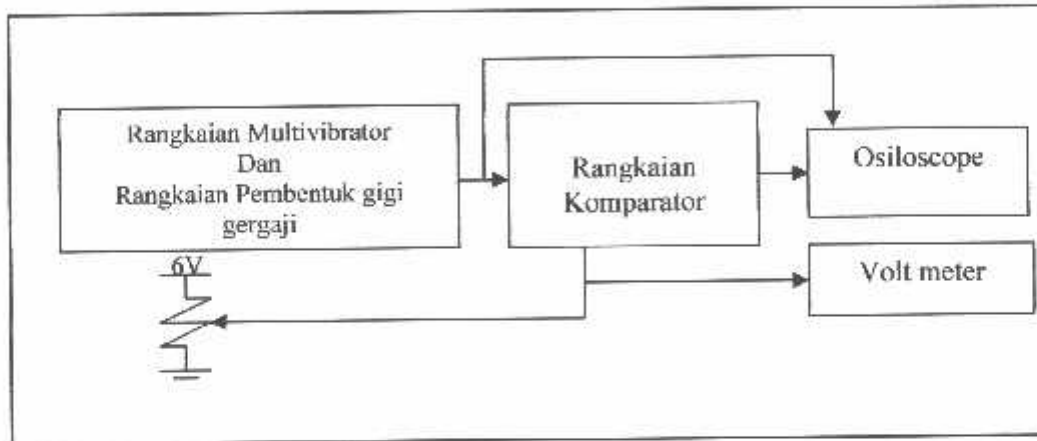
4.3.2. Peralatan yang digunakan

- Catu daya
 - Osiloscope dan Volt meter
 - Rangkaian Multivibrator dan Rangkaian Pembentuk gigi gergaji
 - Potensio Meter sebagai pengatur tegangan referensi
 - Rangkaian Komparator
-

4.3.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Rangkaian dihubungkan seperti gambar 4.5.
2. Berikan catu daya 6 Volt.
3. Mencatat hasil keluaran komparator yang ditampilkan pada oscilloscope.

Secara diagram blok langkah pengujian adalah sebagai berikut:

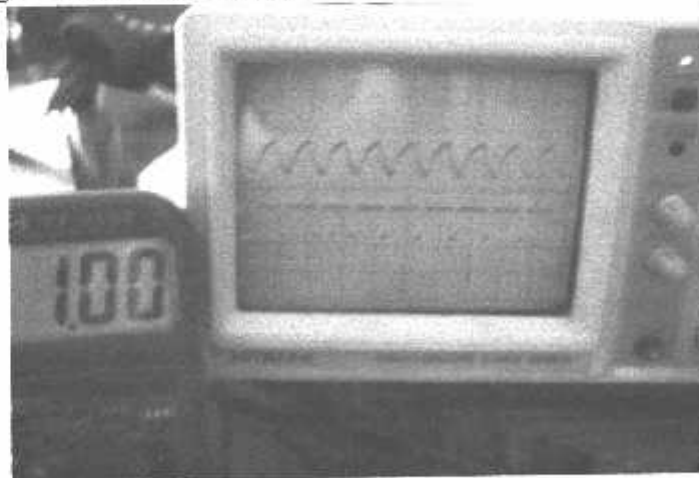


Gambar 4.5. Blok diagram pengujian Rangkaian Komparator

4.3.4. Hasil dan Analisa Pengujian

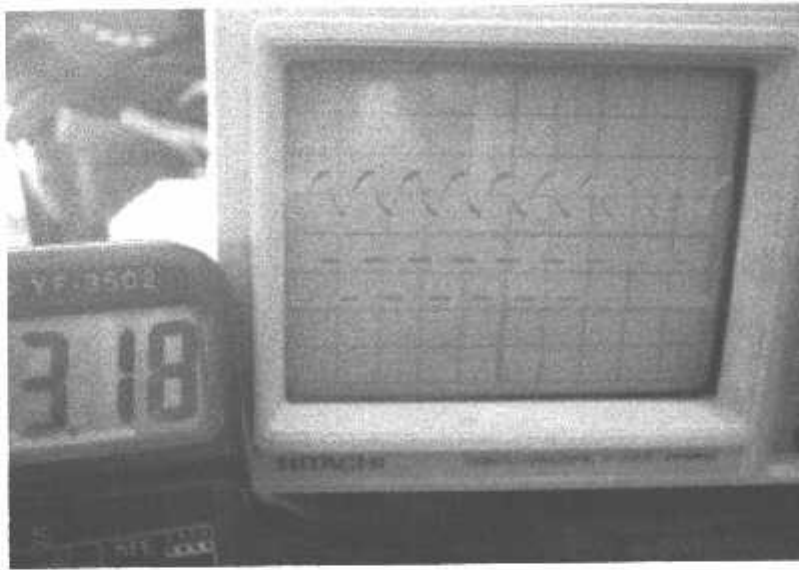
Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada foto keluaran rangkaian komparator pada osiloscope. Ditunjukkan sebagai berikut :

Pada saat tegangan V_{ref} sebesar 1 volt



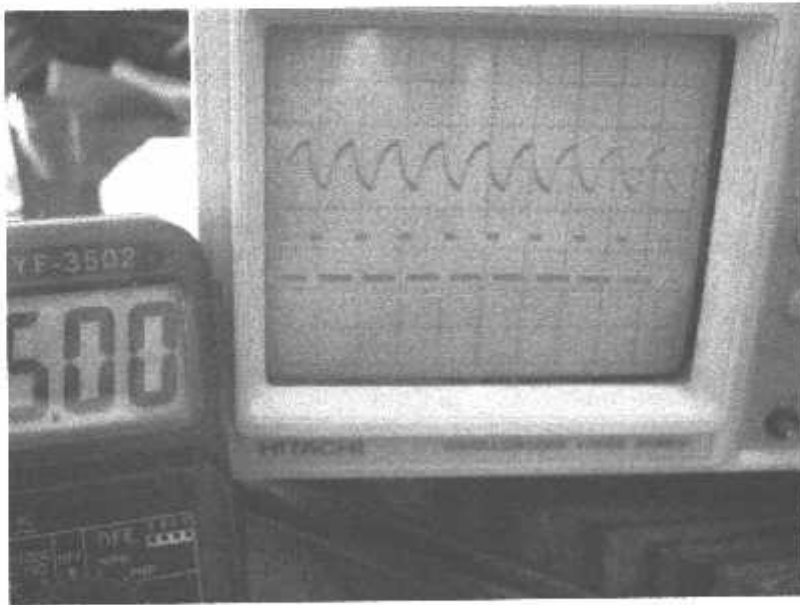
Gambar 4.6. Foto Sinyal Keluaran PWM saat tegangan referensi sebesar 1V.

Pada saat tegangan referensi sebesar 3,18 volt



Gambar 4.7. Foto Sinyal Keluaran PWM saat tegangan referensi sebesar 3,18V.

Pada saat tegangan referensi sebesar 5 volt



Gambar 4.8. Foto Sinyal Keluaran PWM saat tegangan referensi sebesar 5V.

Pada saat pengambilan gambar osiloskop ini posisi Time/div dan Volt/div masing-masing berada pada posisi 1ms/div dan 5 volt/div. Dengan demikian nilai V_{puncak} pada saat pulsa H diketahui sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_p &= \text{volt/div} \times \text{jumlah kotak vertikal} \\
 V_p &= 5 \times 1,2 \\
 V_p &= 6 \text{ volt}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Sedangkan frekuensi sinyal adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\text{time/div} \times \text{jumlah kotak horisontal (1 lembah + 1 puncak)}} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-3} \times 1,45} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-3} \times 1,45} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1,45 \times 10^{-3}} \\
 f &= 689 \text{ Hz}
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

Dari data yang ada pada hasil pengujian, maka output dari rangkaian PWM akan membentuk gelombang kotak dengan frekuensi 689 Hz. Lebar pulsa dari sinyal bergantung pada tegangan referensi (V_{ref}). Semakin rendah nilai tegangan referensi maka lebar pulsa H pada keluaran komparator semakin panjang.

4.4. Pengujian Rangkaian Swite

4.4.1. Tujuan

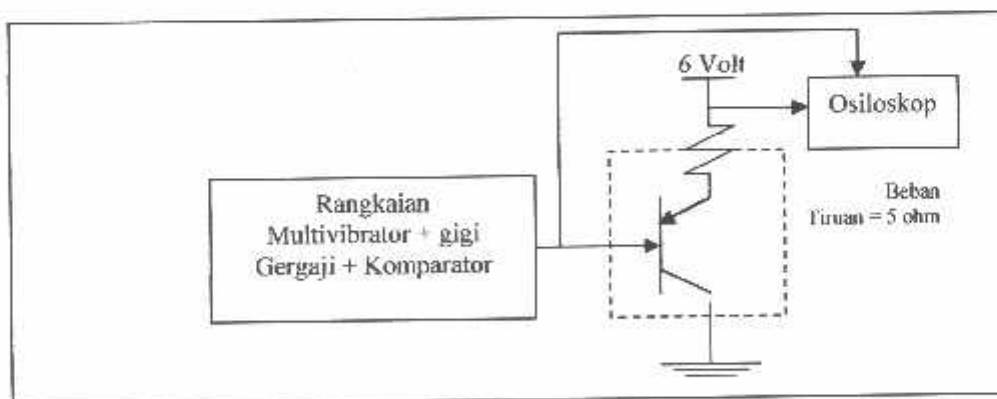
Tujuan pengujian rangkaian swite adalah untuk mengetahui apakah rangkaian keluaran sinyal PWM dari komparator dapat membuat transistor swite menjadi saturasi berdasarkan kondisi arus yang mesti dilewatkan pada kolektor yaitu sebesar 1250 mA.

4.4.2. Alat dan Bahan

1. Osiloskop
2. Beban tiruan sebesar 5 Ohm. Ini berasal dari $R = 6\text{ volt} / 1250\text{ mA}$
3. Catudaya.

4.4.3. Langkah Pengujian

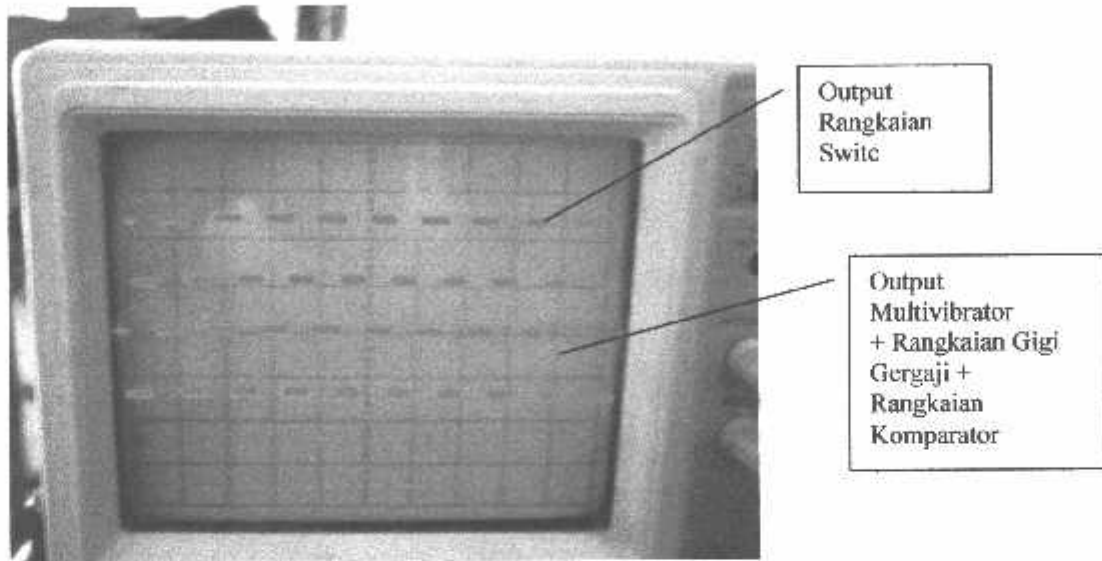
1. Menyusun blok diagram seperti Gambar 4.9:
2. Memasang catu daya alat
3. Mengamati Hasil pengujian pada Osiloskop.



Gambar 4.9. Blok diagram pengujian rangkaian swite.

4.4.4. Hasil dan Analisa Rangkaian

Setelah melakukan pengujian seperti gambar diatas hasil yasinyal yang tampak pada osiloskop adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10. Hasil sinyal pengujian rangkaian switc.

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa sinyal input dari rangkaian multivibrator dapat membuat rangkaian switc menghasilkan sinyal yang sama dengan arus yang telah ditentukan melalui beban tiruan.

4.5. Pengujian Rangkaian Penyearah

4.5.1. Tujuan

Tujuan dari pengujian Rangkaian Penyearah adalah untuk mengetahui apakah rangkaian penyearah yang dibuat dapat berkerja sesuai dengan yang direncanakan. Rangkaian ini difungsikan sebagai perubah dari tegangan AC menjadi DC.

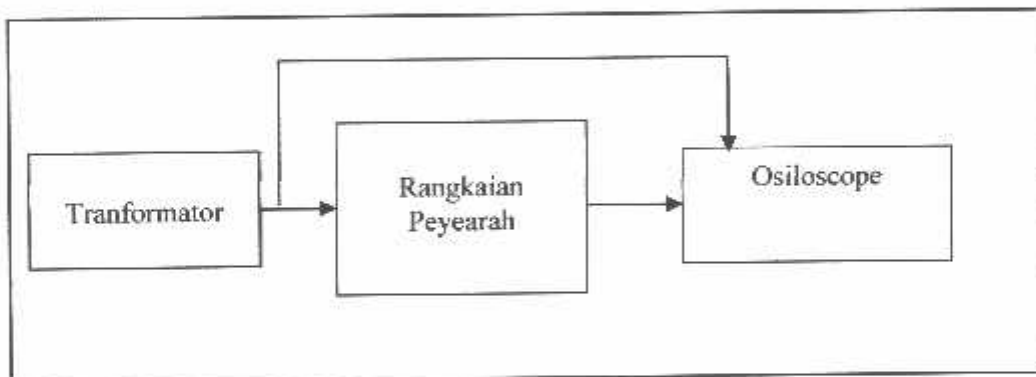
4.5.2. Peralatan yang digunakan

- Transformator
- Osiloscope
- Rangkaian Penyearah

4.5.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Rangkaian dihubungkan seperti gambar 4.11
2. Berikan sinyal dari rangkaian switch pada input transformator
3. Mencatat hasil keluaran peyearah yang ditampilkan pada oscilloscope.

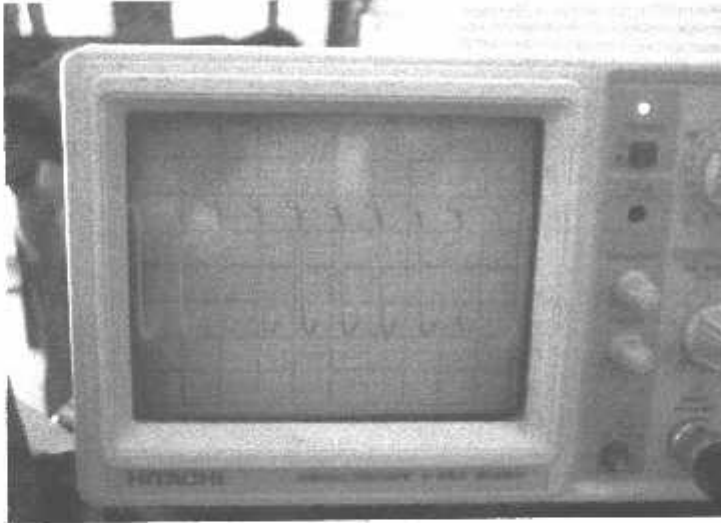
Secara diagram blok langkah pengujian adalah sebagai berikut:



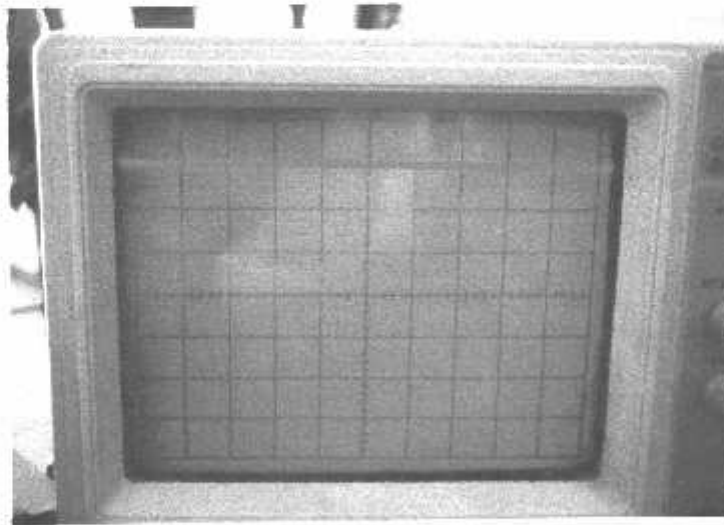
Gambar 4.11 Blok diagram pengujian Rangkaian Peyearah

4.5.4. Hasil Pengujian

Adapun hasil pengujian dapat pada osiloskop dapat dilihat pada foto output rangkaian berikut :



(a) (Foto output sinyal transformator)



(b) (Foto output sinyal Penyearah)

Gambar 4.12. (a)Foto Keluaran Transformator (b)Foto Keluaran Penyearah.

Dalam pengujian rangkaian penyearah ini oscilloscop ditetapkan pada posisi 5 Volt/div dan 1 ms/div. Pada gambar 4.12(a) menunjukkan keluaran tranformator adalah tegangan AC dengan frekuensi sebesar:

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\text{time/div} \times \text{jumlah kotak horisontal (1 lembah + 1 puncak)}} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-3} \times 1,45} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-3} \times 1,45} \\
 f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{1,45 \times 10^{-3}} \\
 f &= 689 \text{ Hz}
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

dan tegangan Vpp sebesar

$$\begin{aligned}
 V_p &= \text{volt/div} \times \text{jumlah kotak vertikal} \\
 V_p &= 5 \times 3,6 \\
 V_p &= 18 \text{ volt}
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

Setelah melalui rangkaian penyearah tegangan yang telah disearahkan menghasilkan tegangan yang telah disearahkan sebesar 15 volt DC.

4.6. Pengujian Rangkaian Keseluruhan

4.6.1. Tujuan

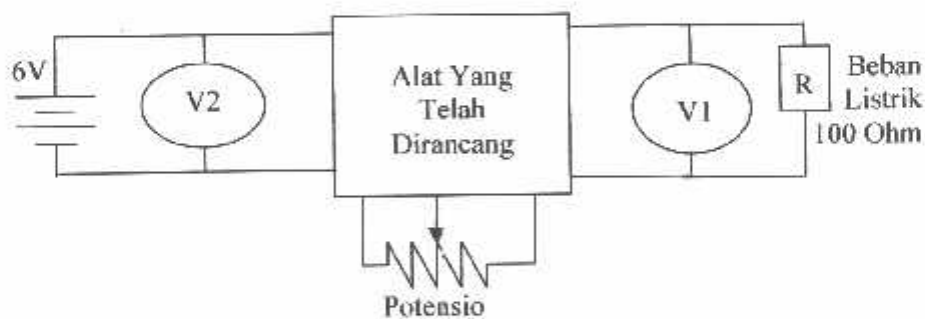
Pengujian rangkaian keseluruhan bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat sudah dapat bekerja seperti yang diharapkan, yaitu untuk menaikkan tegangan dari 6 Volt Dc ke 15 Volt Dc.

4.6.2. Peralatan yang digunakan

- Catu daya
- Dua Multitester Digital
- Keseluruhan Alat yang dirancang
- Beban listrik untuk tegangan 6 Volt dan untuk tegangan 12 volt dan 15 Volt.

4.6.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Rangkaian dihubungkan seperti blok diagram pada gambar 4.13.
2. Berikan catu daya 6Volt.
3. Menggerakkan posisi potensio untuk mendapatkan tegangan sebesar 6 volt, 9 volt, 12 volt, dan 15 volt.
4. Mencatat tegangan pada V1 dan V2 pada saat output rangkaian diberi beban listrik.



Gambar 4.13. Blok diagram pengujian Rangkaian Keseluruhan

4.6.4. Hasil Dan Analisa

Hasil pencatatan pengujian rangkaian secara keseluruhan di tunjukkan pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1: Hasil pengujian rangkaian secara keseluruhan

Sumber (V2)	Out			
	SET (V)	Dengan Beban (V)	I _{beban} (mA)	P (mWatt)
6	6,4	5,2	52mA	270,4
6	9,2	8,5	80mA	680
6	12,2	11,5	115mA	1320
6	15,3	14,7	140mA	2058

Dari table 4.1 diatas diketahui tegangan output sedikit mengalami penurunan jika rangkaian diberikan beban. Kondisi penurunan tegangan diatas dalam persen dihitung sebagai berikut :

Untuk tegangan 6 volt

$$|error| = \frac{6 - 5,2}{6 + 5,2} \times 100\% = 7,1\% \tag{4,6}$$

Untuk tegangan 9 Volt

$$|error| = \frac{9 - 8,5}{9 + 8,5} \times 100\% = 2,9\% \tag{4,7}$$

Untuk tegangan 12 Volt

$$|error| = \frac{12 - 11,5}{12 + 11,5} \times 100\% = 2,1\% \quad (4,8)$$

Untuk tegangan 15 Volt

$$|error| = \frac{15 - 14,7}{15 + 14,7} \times 100\% = 1\% \quad (4,9)$$

Dengan prosentase kesalahan seperti diatas, nilai error tertinggi terjadi pada tegangan pada posisi 6 volt yaitu sebesar 7%. Namun karena pada umumnya banyak peralatan yang juga memberikan range tegangan umumnya sebesar $\pm 10\%$ dari nilai standart. Dengan demikian alat yang dibuat dapat berfungsi seperti yang diharapkan.

4.7. Pengujian Daya Tahan Battre

4.7.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa efisiensi alat terhadap penggunaan battre secara manual.

4.7.2 Peralatan yang digunakan

1. Delapan buah battre kecil (1,5volt) untuk pengujian tegangan 12 volt
 2. Empat buah battre kecil (1,5volt) untuk pengujian tegangan 6 volt
 3. Empat buah batter kecil (1,5 volt) untuk alat
 4. Masing 2 lampu motor 12V/8watt dan 6V/8watt
-

4.7.3 Langkah Pengujian

1. Menghubungkan 8 buah battre secara seri untuk membangkitkan tegangan sebesar 12 volt
2. Menghubungkan 4 buah battre secara seri untuk membangkitkan tegangan sebesar 6 volt.
3. Mengaktifkan lampu 12V dan pada alat dan pada battre kemudian mencatat waktu pengaktifan. Setelah itu mencatat waktu lampu mati.
4. Ulangi langkah 1,2, dan 3 untuk tegangan 6 volt.

4.7.4 Hasil dan Analisa

Hasil pengujian dituliskan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengujian daya tahan batter

Lampu	Waktu Start Nyala		Waktu Padam		Lama Waktu	
	Battre	Alat	Battre	Alat	Battre	Alat
Lampu 12 V	01.00	01.00	02.40	01.41	100 menit	41 menit
Lampu 6 V	03.00	03.00	03.40	03.34	40 menit	34 menit

Dari hasil pengujian pada tabel 4.2. Untuk tegangan 12 volt nilai waktu lebih pendek dari penggunaan battre. Hal ini dimungkinkan karena untuk meningkatkan tegangan alat yang dibuat membutuhkan arus yang lebih besar dari pada penggunaan langsung ke batre. Namun alat yang dibuat cukup menggunakan 4 buah battre dalam penerapannya. Sehingga persentase penggunaan alat terhadap penggunaan batre secara langsung dapat dihitung sebesar :

Untuk tegangan 12 Volt.

$$\frac{\text{Waktu Penggunaan Alat}}{\text{Waktu Menggunakan Batre}} \times 100\% \quad (4.10)$$

$$\frac{41 \text{ menit}}{100 \text{ menit}} \times 100\% = 41\%$$

Namun Jumlah Batre yng Digunakan Untuk Alat = 4 buah

Sedangkan Jumlah Batre Secara Langsung = 8 buah, maka :

$$\text{efisiensiAlat} = \frac{\sum \text{batre secara langsung}}{\sum \text{batre pada alat}} \times 41\%$$

$$\text{efisiensiAlat} = \frac{8}{4} \times 41\%$$

$$\text{efisiensiAlat} = 82\%$$

Untuk tegangan 6 Volt.

$$\frac{\text{Waktu Penggunaan Alat}}{\text{Waktu Menggunakan Batre}} \times 100\%$$

$$\frac{34 \text{ menit}}{40 \text{ menit}} \times 100\% = 85\%$$

(4.11)

Jumlah Batre yng Digunakan Untuk Alat = 4 buah

Sedangkan Jumlah Batre Secara Langsung = 4 buah, maka :

$$\text{efisiensiAlat} = \frac{\sum \text{batre secara langsung}}{\sum \text{batre pada alat}} \times 85\%$$

$$\text{efisiensiAlat} = \frac{4}{4} \times 85\%$$

$$\text{efisiensiAlat} = 85\%$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat di ketahui alat telah dirancang memiliki efisiensi sebesar 82 % untuk tegangan 12 volt. Dan 85% untuk tegangan 6 volt.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melalui tahap pembuatan dan pengujian alat maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Alat ini telah dapat berjalan sesuai seperti yang telah direncanakan.
2. Spesifikasi hasil, alat ini dapat berkerja dengan input sebesar 6 Volt dengan keluaran tegangan sebesar 15 Volt.
3. Dengan penggunaan beban listrik sebesar 100 ohm maksimal presentase error tegangan sebesar 7,1%.
4. Dimensi alat adalah dengan panjang 10 cm, lebar 8 cm, tinggi 6 cm dan berat kurang lebih 500 gram

5.2. Saran

1. Untuk memperoleh tegangan keluaran yang lebih baik dan linier sebaiknya menggunakan komponen dan rangkaian pendukung yang berkualitas.
2. Untuk memudahkan penyimpanan rangkaian sebaiknya rangkaian elektroniknya dirancang sekecil mungkin

DAFTAR PUSTAKA








- [1]. Wasito S. (1995). *Vademckum Elektronika*, Edisi Kedua. Jakarta PT. Gramedia
 - [2]. Elektur, Steeman J.P.M. (1991). *Data Sheet Book I*. Alih Bahasa Wasito PT Gramedia.
 - [3]. Albert Paul Malvino, Ph. D. (1994). *Prinsip-Prinsip Elektronika Jilid I dan II*. Alih Bahasa M. Baemawi, Ph. D. Jakarta. Penerbit Erlangga.
 - [4]. Herman Widodo Soemitro, *Penguat Operasi dan Rangkaian Terpadu Linear*, PT Erlangga.
 - [5]. Ir. A. R. Margunadi (1990). *Teori Rangkaian*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
-




LAMPIRAN

FURMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : RIDUWAN. H. S.
Nim : 01. 17. 053
Masa Bimbingan : 23 JULI 2007 s/d 23 JANUARI 2008
Judul Skripsi : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT DC TO DC
KONVERTER DENGAN METODE (PWM)

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	14/08 08	Revisi Bab II	
2.	19/08 08	Konsultasi Bab I & Bab III Revisi Bab II	
3.	24/08 08	Revisi Bab	
4.	29/08 08	pengisian bab II	
5.	3/09 08	Konsultasi Seminar Bab II	
6.	14/09 08	Revisi Bab II pengisian	
7.	18/09 08	Revisi Laporan Skripsi	
8.			
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing


I. Komang Somawirata, ST.MT
NIP. 1030100361

Form S-4 R



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA

Riduwan Hani S

NIM

01.17.053

Perbaikan meliputi

1) Pembahasan Matri Oscilloscope SDR

Muncul V_{pp} & Frek Kenapa Masih (Akan)

V_{pp} & T_{pp} Dlm Mencari Nilainya?

Malang,



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA

N I M

Perbaikan meliputi

:

Malang,

(_____)



LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Riduwan H. S.
NIM : 01. 17. 053
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Masa Bimbingan : 23 Juli 2007 s/d 23 Januari 2008
Judul Skripsi : Perancangan Dan Pembuatan Alat DC to DC
Converter Dengan Metode Pulse Width
Modulation (PWM)

Hari/Tgl Skripsi : Selasa, 18 Maret 2008

No.	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Pengujian pakai Oscilloscope sistem Muncul Vpp dan Frekuensi	
2.	Mengapa masih Pakai V/Div dan T/Div dalam mencari Nilainya	

Mengetahui

Dosen pembimbing I

Ir. Usman Djuanda, MM
NIP. 1018700143

Dosen Pembimbing II

I. Komang Somawirata, ST, MT
NIP. 1030100361

Diperiksa / Disetujui

Penguji

Jaseph Dedy Irawan, ST, MT
NIP. 132315178

0 Absolute Maximum Ratings for the LM111/LM211 (Note 10)

Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V_{SS})	36V
Output to Negative Supply Voltage (V_{T4})	50V
Output to Negative Supply Voltage (V_{T4})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Output Voltage (Note 4)	$\pm 15V$
Output Short Circuit Duration	10 sec

Operating Temperature Range

LM111	-55°C to 125°C
LM211	-25°C to 85°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec)

260°C

Voltage at Strobe Pin

$V^+ - 5V$

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Rating (Note 11)

300V

Electrical Characteristics (Note 6)

the LM111 and LM211

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Offset Voltage (Note 7)	$T_A = 25^\circ C$, $R_S \leq 50k$		0.7	3.0	mV
Offset Current	$T_A = 25^\circ C$		4.0	10	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ C$		60	100	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$	40	200		V/mV
Response Time (Note 8)	$T_A = 25^\circ C$		200		ns
Strobe Voltage	$V_{IN} \leq -5$ mV, $I_{OUT} = 50$ mA $T_A = 25^\circ C$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 9)	$T_A = 25^\circ C$		2.0	5.0	mA
Input Leakage Current	$V_{IN} \geq 5$ mV, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ C$, $I_{STROBE} = 3$ mA		0.2	10	nA
Input Offset Voltage (Note 7)	$R_S \leq 50k$			4.0	mV
Input Offset Current (Note 7)				20	nA
Input Bias Current				150	nA
Output Voltage Range	$V^+ = 15V$, $V^- = -15V$, Pin 7 Pull-Up May Go To 5V	-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Strobe Voltage	$V^+ \geq 4.5V$, $V^- = 0$ $V_{IN} \leq -6$ mV, $I_{OUT} \leq 8$ mA		0.23	0.4	V
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 5$ mV, $V_{OUT} = 35V$		0.1	0.5	μA
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		5.1	6.0	mA
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		4.1	5.0	mA

Note 4: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the positive supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 5: The maximum junction temperature of the LM111 is 150°C, while that of the LM211 is 110°C. For operating at elevated temperatures, devices in the HDB package must be derated based on a thermal resistance of 165°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 110°C/W, junction to ambient.

Note 6: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and Ground pin at ground, and $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$, unless otherwise stated. With the LM211, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single supply up to $\pm 15V$ supplies.

Note 7: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and R_S .

Note 8: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 9: This specification gives the range of current which must be drawn from the strobe pin to ensure the output is properly disabled. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

Note 10: Refer to RETS111X for the LM111H, LM111J and LM111J-8 military specifications.

Note 11: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

5.0 Absolute Maximum Ratings for the LM311 (Note 12)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_{S4})	36V
Output to Negative Supply Voltage (V_{rc})	40V
Ground to Negative Supply Voltage (V_{14})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 13)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 14)	500 mW
ESD Rating (Note 19)	300V
Output Short Circuit Duration	10 sec

Operating Temperature Range	0° to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	260°C
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

Electrical Characteristics (Note 15)

for the LM311

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 16)	$T_A = 25^\circ C$, $R_S \leq 50k$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 16)	$T_A = 25^\circ C$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ C$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$	40	200		V/mV
Response Time (Note 17)	$T_A = 25^\circ C$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10$ mV, $I_{OUT} = 50$ mA $T_A = 25^\circ C$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 18)	$T_A = 25^\circ C$		2.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10$ mV, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ C$, $I_{STROBE} = 3$ mA $V^- = \text{Pin } 1 = -5V$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 16)	$R_S \leq 50K$			10	mV
Input Offset Current (Note 16)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V$, $V^- = 0$ $V_{IN} \leq -10$ mV, $I_{OUT} \leq 8$ mA		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		4.1	5.0	mA

Note 12: "Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits."

Note 13: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 14: The maximum junction temperature of the LM311 is 110°C. For operating at elevated temperature, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 165°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 15: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and Pin 1 at ground, and $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$, unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15V$ supplies.

Note 16: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and R_S .

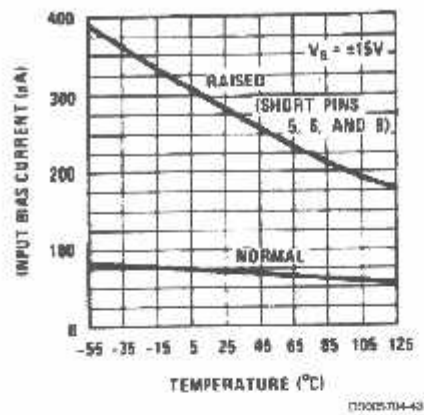
Note 17: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 18: This specification gives the range of current which must be drawn from the strobe pin to ensure the output is properly disabled. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

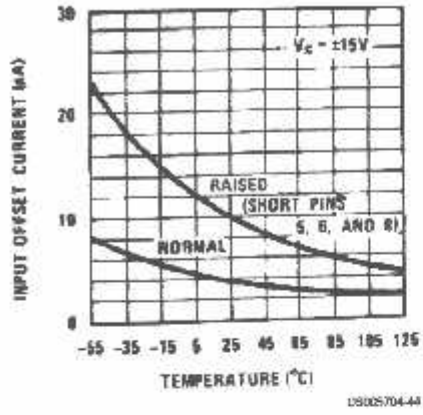
Note 19: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

1.0 LM111/LM211 Typical Performance Characteristics

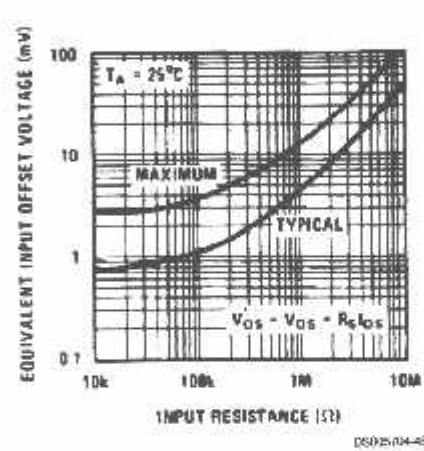
put Bias Current



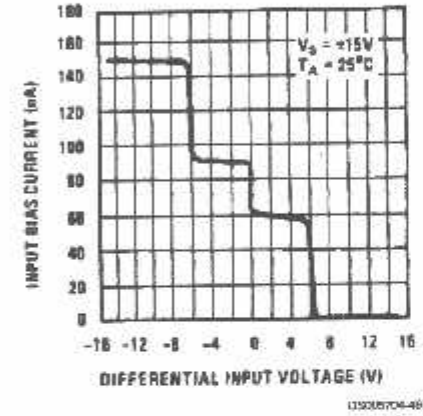
Input Bias Current



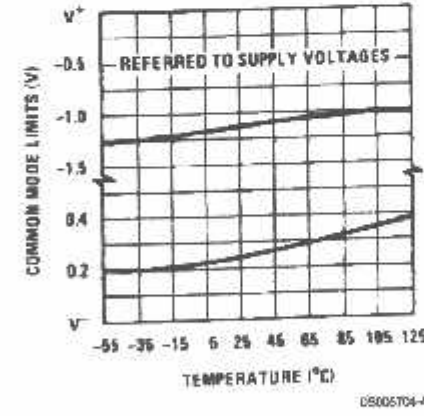
ut Bias Current



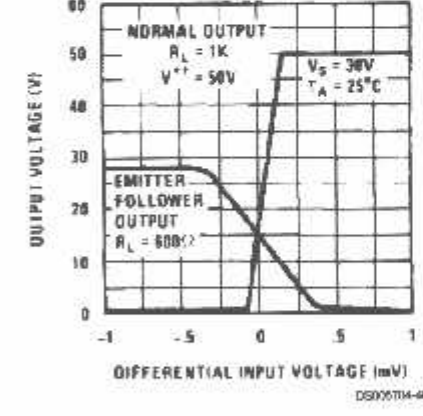
Input Bias Current



ut Bias Current

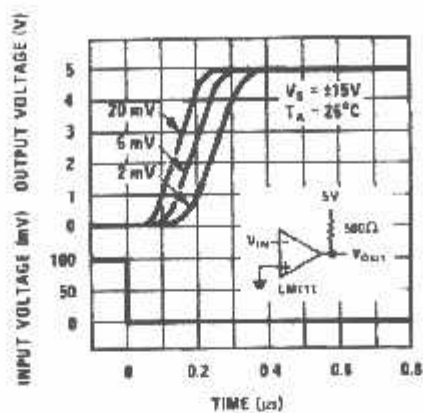


Input Bias Current



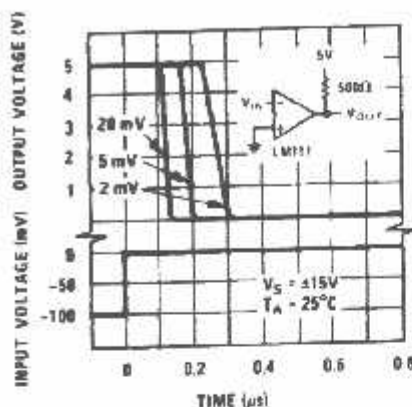
6.0 LM111/LM211 Typical Performance Characteristics (Continued)

Input Bias Current
Input Overdrives



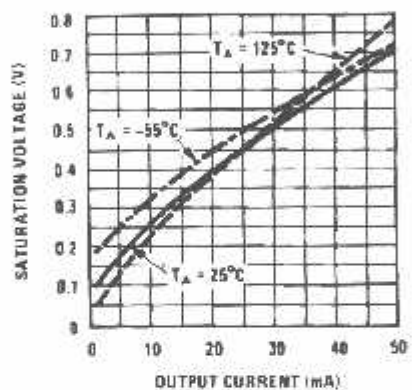
DS005704-40

Input Bias Current
Input Overdrives



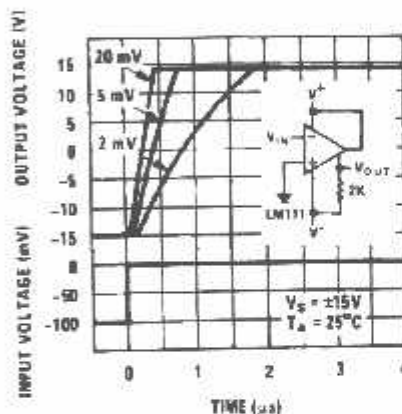
DS005704-50

Input Bias Current



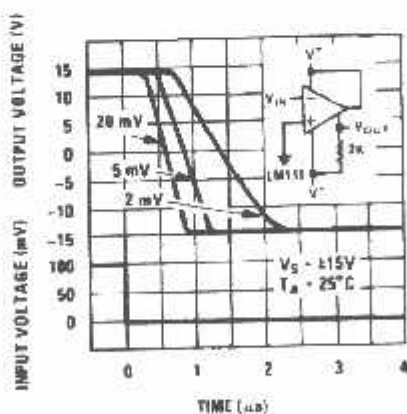
DS005704-01

Response Time for Various
Input Overdrives



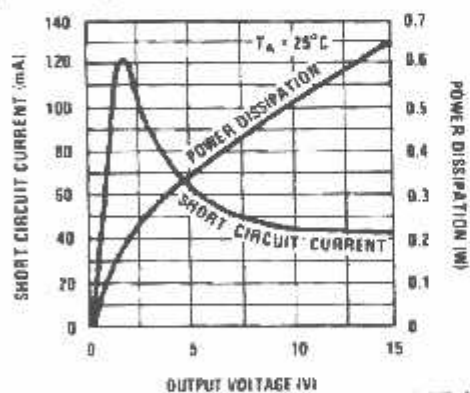
DS005704-52

Response Time for Various
Input Overdrives



DS005704-53

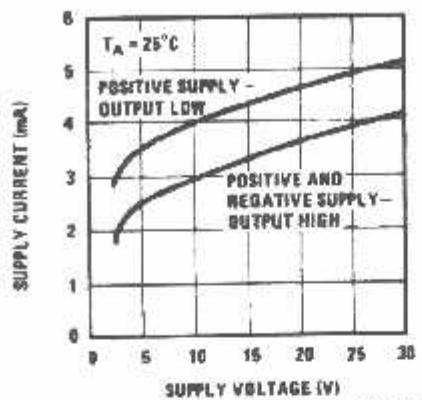
Output Limiting Characteristics



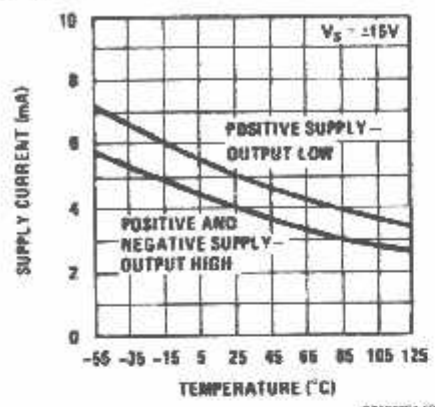
DS005704-54

10.0 LM111/LM211 Typical Performance Characteristics (Continued)

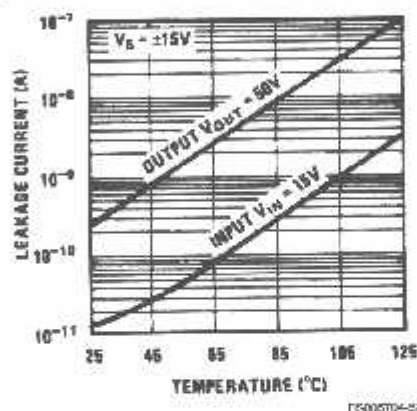
Supply Current



Supply Current

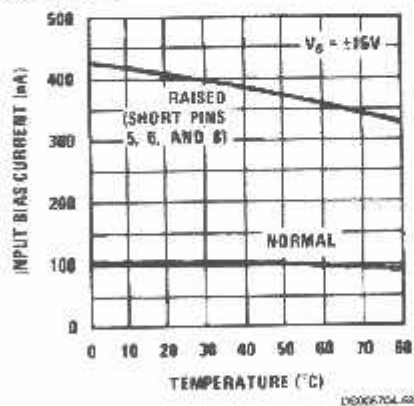


Leakage Currents

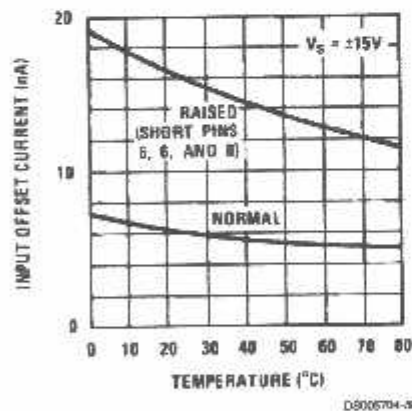


10.0 LM311 Typical Performance Characteristics

Input Bias Current

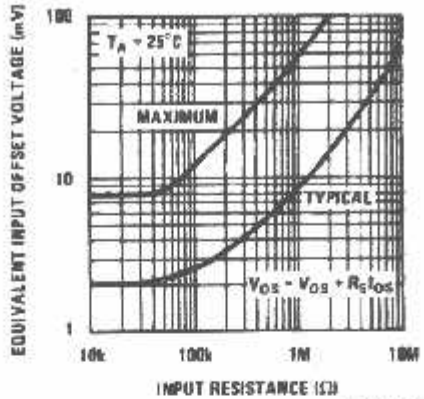


Input Offset Current



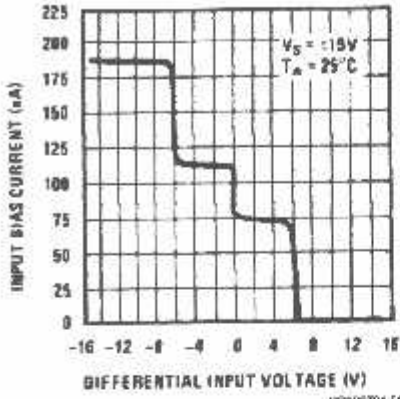
7.0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)

Offset Error



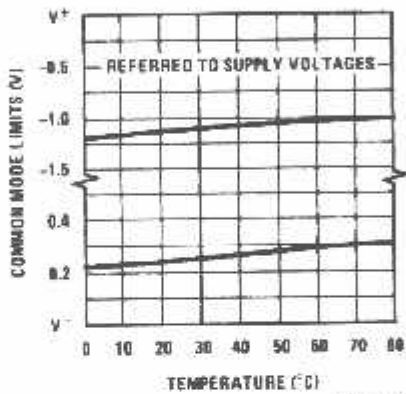
DS016704-60

Input Characteristics



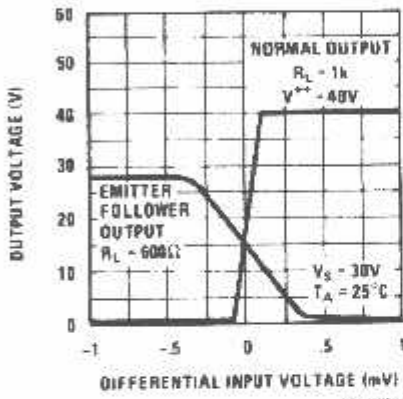
DS016704-61

Common Mode Limits



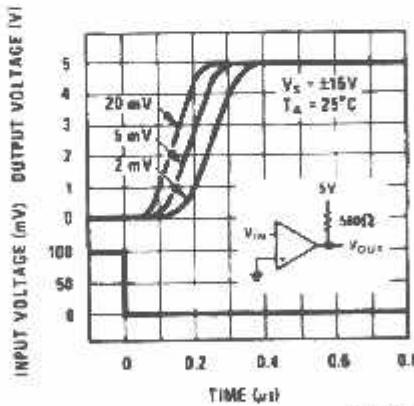
DS016704-62

Transfer Function



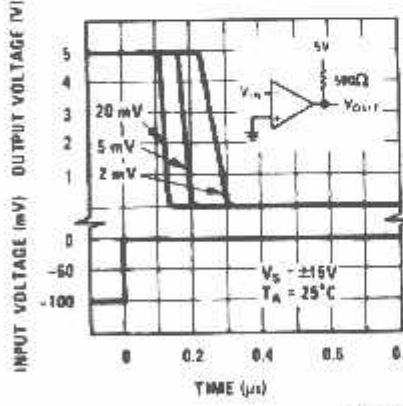
DS016704-63

Response Time for Various Input Overdrives



DS016704-64

Response Time for Various Input Overdrives

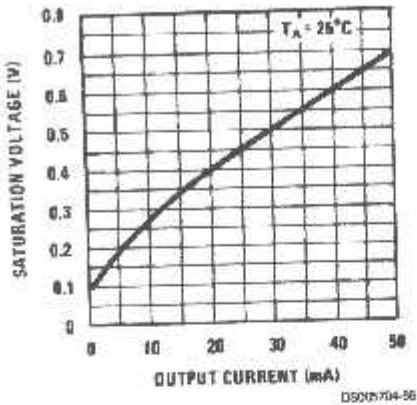


DS016704-65

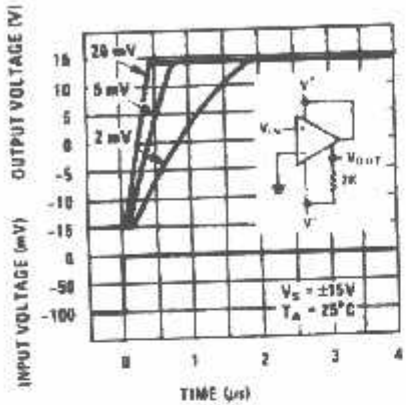
0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)

LM111/LM211/LM311

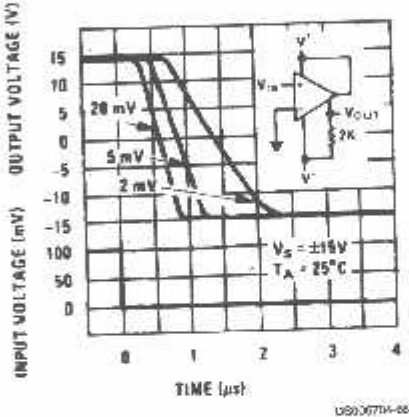
Output Saturation Voltage



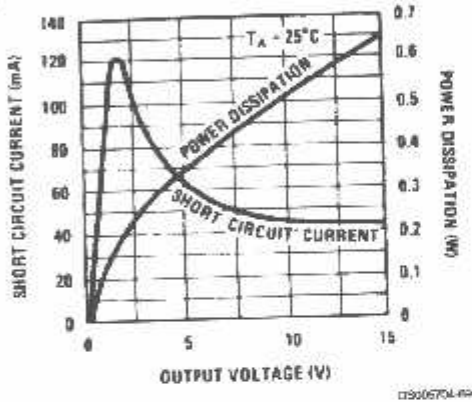
Response Time for Various Input Overdrives



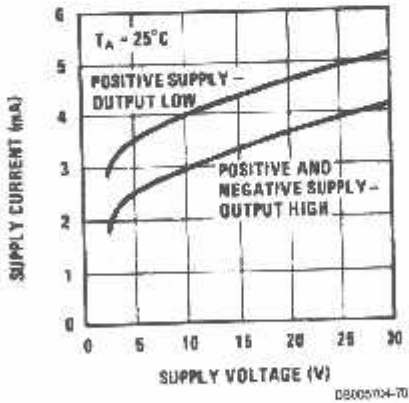
Response Time for Various Input Overdrives



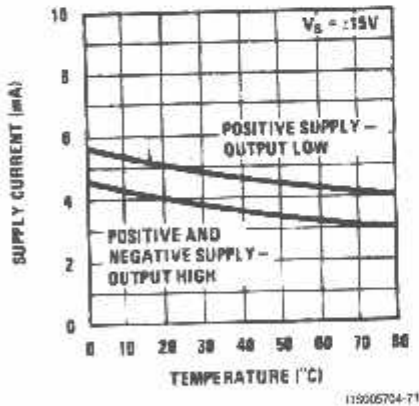
Output Limiting Characteristics



Supply Current

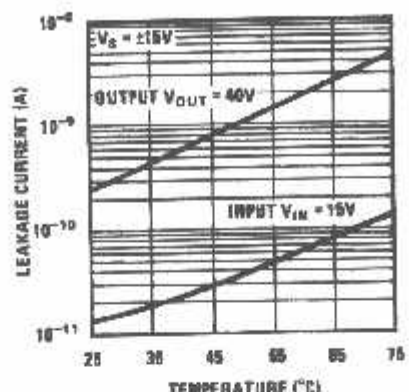


Supply Current



7.0 LM311 Typical Performance Characteristics (Continued)

Leakage Currents



D6025704-72

8.0 Application Hints

8.1 CIRCUIT TECHNIQUES FOR AVOIDING OSCILLATIONS IN COMPARATOR APPLICATIONS

When a high-speed comparator such as the LM111 is used with fast input signals and low source impedances, the output response will normally be fast and stable, assuming that the power supplies have been bypassed (with 0.1 μF disc capacitors), and that the output signal is routed well away from the inputs (pins 2 and 3) and also away from pins 5 and 6.

However, when the input signal is a voltage ramp or a slow sine wave, or if the signal source impedance is high (1 k Ω to 100 k Ω), the comparator may burst into oscillation near the crossing-point. This is due to the high gain and wide bandwidth of comparators like the LM111. To avoid oscillation or instability in such a usage, several precautions are recommended, as shown in Figure 1 below.

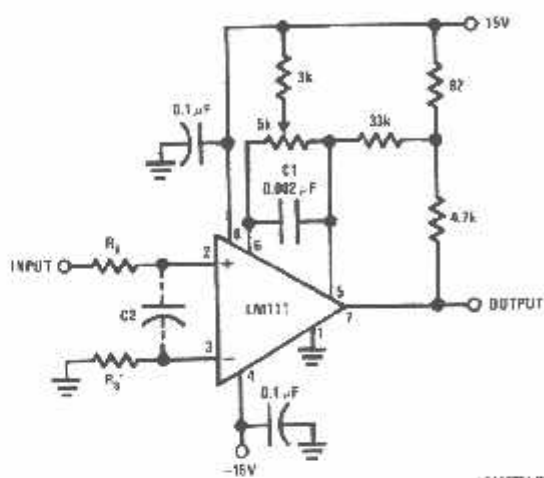
1. The trim pins (pins 5 and 6) act as unwanted auxiliary inputs. If these pins are not connected to a trim-pot, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, a 0.01 μF capacitor C1 between pins 5 and 6 will minimize the susceptibility to AC coupling. A smaller capacitor is used if pin 5 is used for positive feedback as in Figure 1.
2. Certain sources will produce a cleaner comparator output waveform if a 100 pF to 1000 pF capacitor C2 is connected directly across the input pins.
3. When the signal source is applied through a resistive network, R_S , it is usually advantageous to choose an R_S of substantially the same value, both for DC and for dynamic (AC) considerations. Carbon, tin-oxide, and metal-film resistors have all been used successfully in comparator input circuitry. Inductive wirewound resistors are not suitable.
4. When comparator circuits use input resistors (eg. summing resistors), their value and placement are particularly important. In all cases the body of the resistor should be close to the device or socket. In other words there should be very little lead length or printed-circuit foil run between comparator and resistor to radiate or pick up signals. The same applies to capacitors, pots, etc. For example, if $R_S = 10$ k Ω , as little as 5 inches of lead between the resistors and the input pins can result in oscillations that are very hard to damp. Twisting these input leads tightly is the only (second best) alternative to placing resistors close to the comparator.
5. Since feedback to almost any pin of a comparator can result in oscillation, the printed-circuit layout should be engineered thoughtfully. Preferably there should be a groundplane under the LM111 circuitry, for example, one side of a double-layer circuit card. Ground foil (or positive supply or negative supply foil) should extend between the output and the inputs, to act as a guard. The foil connections for the inputs should be as small and compact as possible, and should be essentially surrounded by ground foil on all sides, to guard against capacitive coupling from any high-level signals (such as the output). If pins 5 and 6 are not used, they should be shorted together. If they are connected to a trim-pot, the trim-pot should be located, at most, a few inches away from the LM111, and the 0.01 μF capacitor should be installed. If this capacitor cannot be used, a shielding printed-circuit foil may be advisable between pins 6 and 7. The power supply bypass capacitors should be located within a couple inches of the LM111. (Some other comparators require the power-supply bypass to be located immediately adjacent to the comparator.)
6. It is a standard procedure to use hysteresis (positive feedback) around a comparator, to prevent oscillation, and to avoid excessive noise on the output because the comparator is a good amplifier for its own noise. In the circuit of Figure 2, the feedback from the output to the positive input will cause about 3 mV of hysteresis. However, if R_S is larger than 100 k Ω , such as 50 k Ω , it would not be reasonable to simply increase the value of the positive feedback resistor above 510 k Ω . The circuit of Figure 3 could be used, but it is rather awkward. See the notes in paragraph 7 below.

Application Hints (Continued)

When both inputs of the LM111 are connected to active signals, or if a high-impedance signal is driving the positive input of the LM111 so that positive feedback would be disruptive, the circuit of Figure 1 is ideal. The positive feedback is to pin 5 (one of the offset adjustment pins). It is sufficient to cause 1 to 2 mV hysteresis and sharp transitions with input triangle waves from a few Hz to hundreds of kHz. The positive-feedback signal across the 82 Ω resistor swings 240 mV below the posi-

tive supply. This signal is centered around the nominal voltage at pin 5, so this feedback does not add to the V_{OS} of the comparator. As much as 8 mV of V_{OS} can be trimmed out, using the 5 k Ω pot and 3 k Ω resistor as shown.

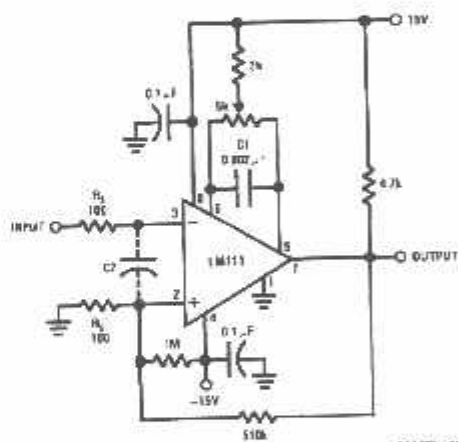
8. These application notes apply specifically to the LM111, LM211, LM311, and LF111 families of comparators, and are applicable to all high-speed comparators in general, (with the exception that not all comparators have trim pins).



D906704-25

connections shown are for LM111H in the H08 hermetic package

FIGURE 1. Improved Positive Feedback

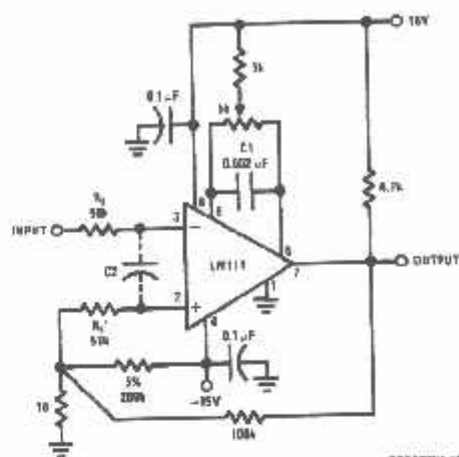


D906704-30

connections shown are for LM111H in the H08 hermetic package

FIGURE 2. Conventional Positive Feedback

8.0 Application Hints (Continued)

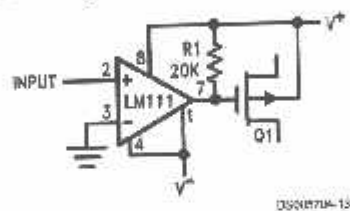


DS006704-31

FIGURE 3. Positive Feedback with High Source Resistance

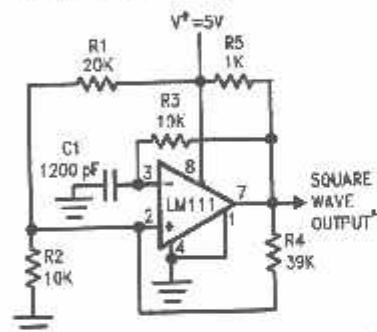
9.0 Typical Applications (Pin numbers refer to H08 package)

Zero Crossing Detector Driving MOS Switch



DS006704-15

100 kHz Free Running Multivibrator

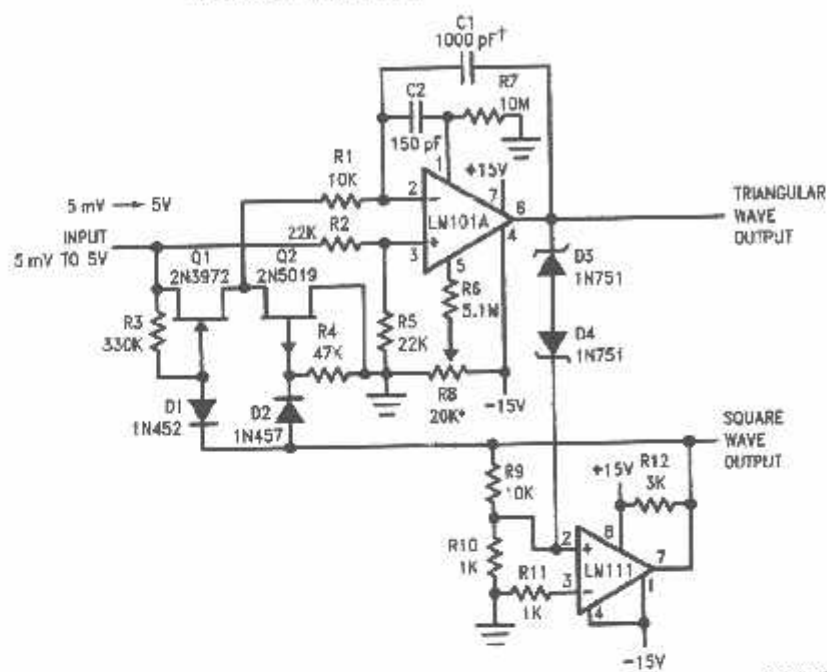


DS006704-14

*TTL or DTL fanout of two

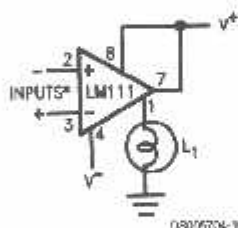
Typical Applications

10 Hz to 10 kHz Voltage Controlled Oscillator



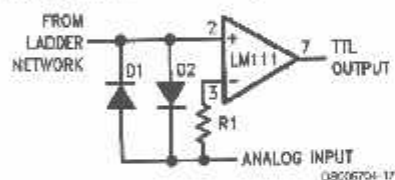
test for symmetrical square wave time when $V_{IN} = 5$ mV
minimum capacitance: 20 μ F Maximum frequency 50 kHz

Driving Ground-Referrred Load

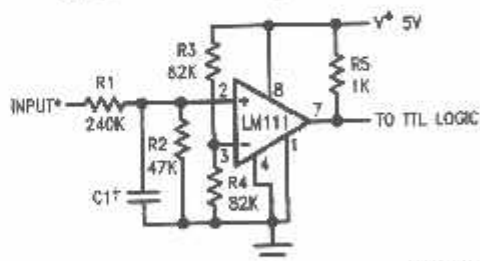


ul polarity is reversed when using pin 1 as output.

Using Clamp Diodes to Improve Response



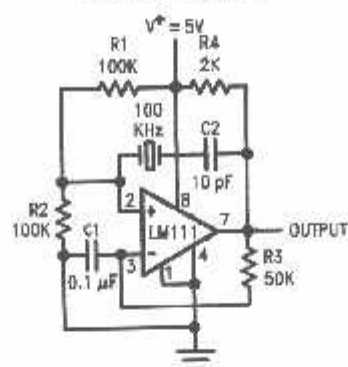
TTL Interface with High Level Logic



times shown are for a 0 to 30V logic swing and a .15V threshold.
may be added to control speed and reduce susceptibility to noise spikes.

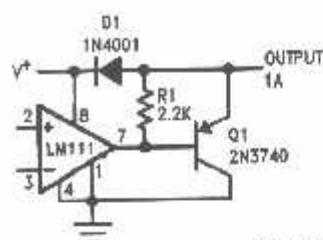
9.0 Typical Applications (Pin numbers refer to H08 package) (Continued)

Crystal Oscillator



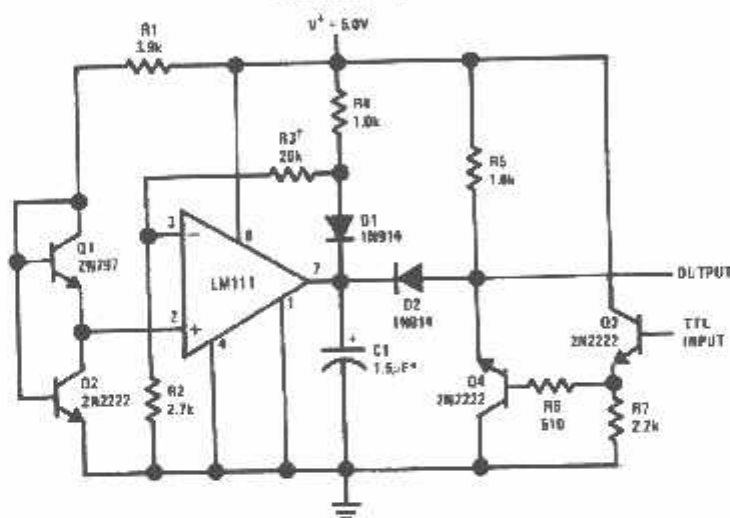
DS005704-18

Comparator and Solenoid Driver



DS005704-20

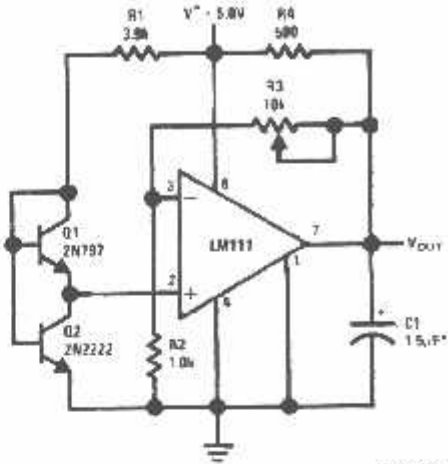
Precision Squarer



DS005704-21

*Solid tantalum
Adjust to set clamp level

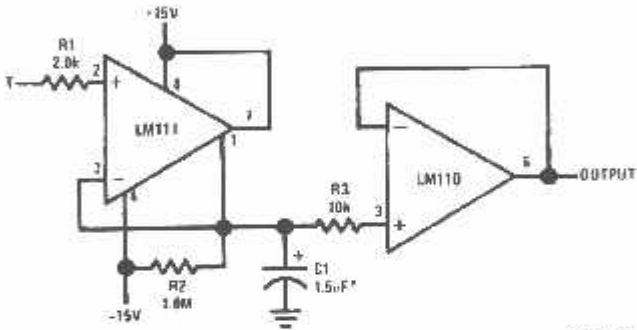
Low Voltage Adjustable Reference Supply



D0005704-22

d tantalum

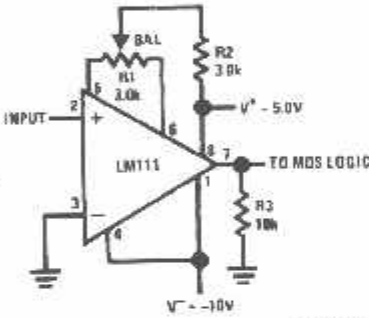
Positive Peak Detector



D0005704-23

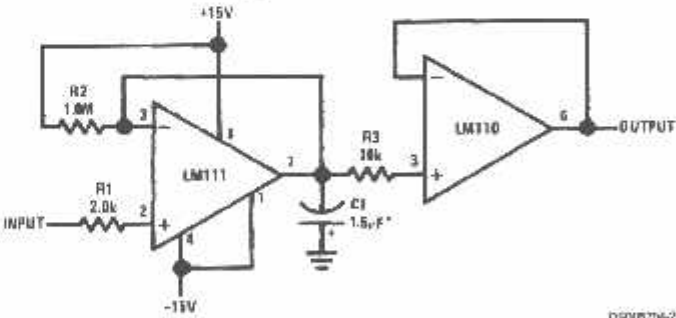
d tantalum

Zero Crossing Detector Driving MOS Logic



D0005704-24

Negative Peak Detector

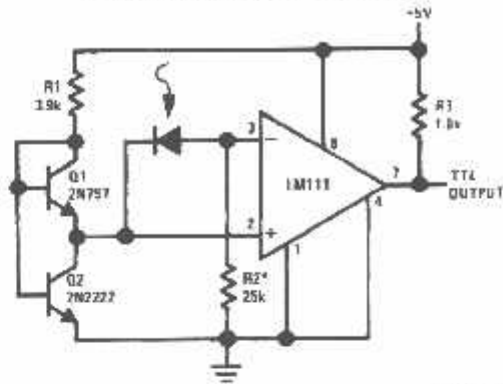


D0005704-25

d tantalum

9.0 Typical Applications (Pin numbers refer to H08 package) (Continued)

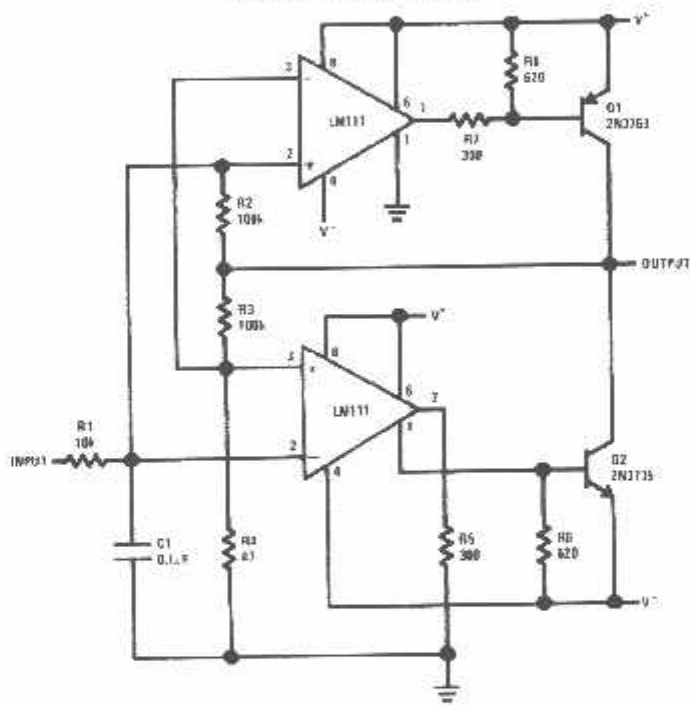
Precision Photodiode Comparator



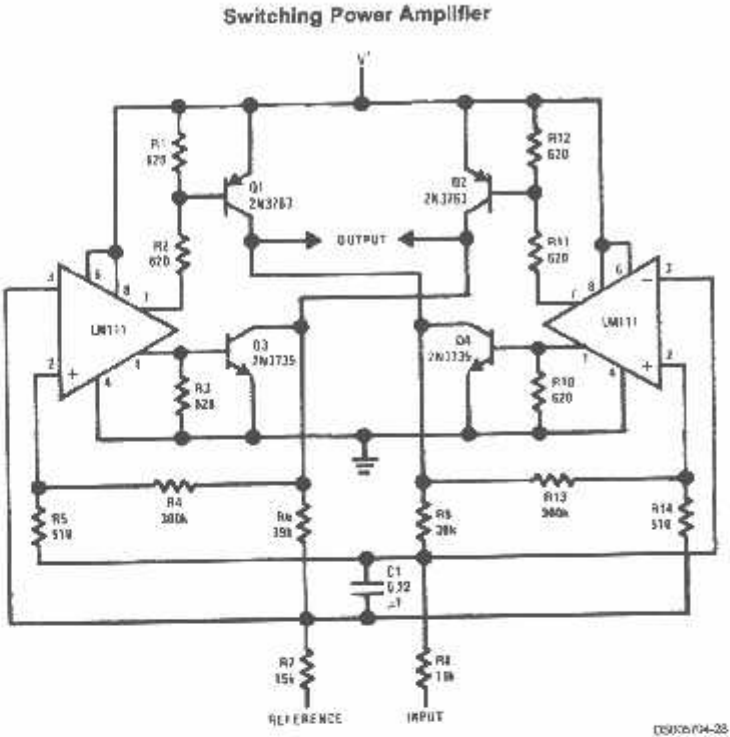
DS005704-26

*R2 sets the comparison level. At comparison, the photodiode has less than 5 mV across it, decreasing leakages by an order of magnitude.

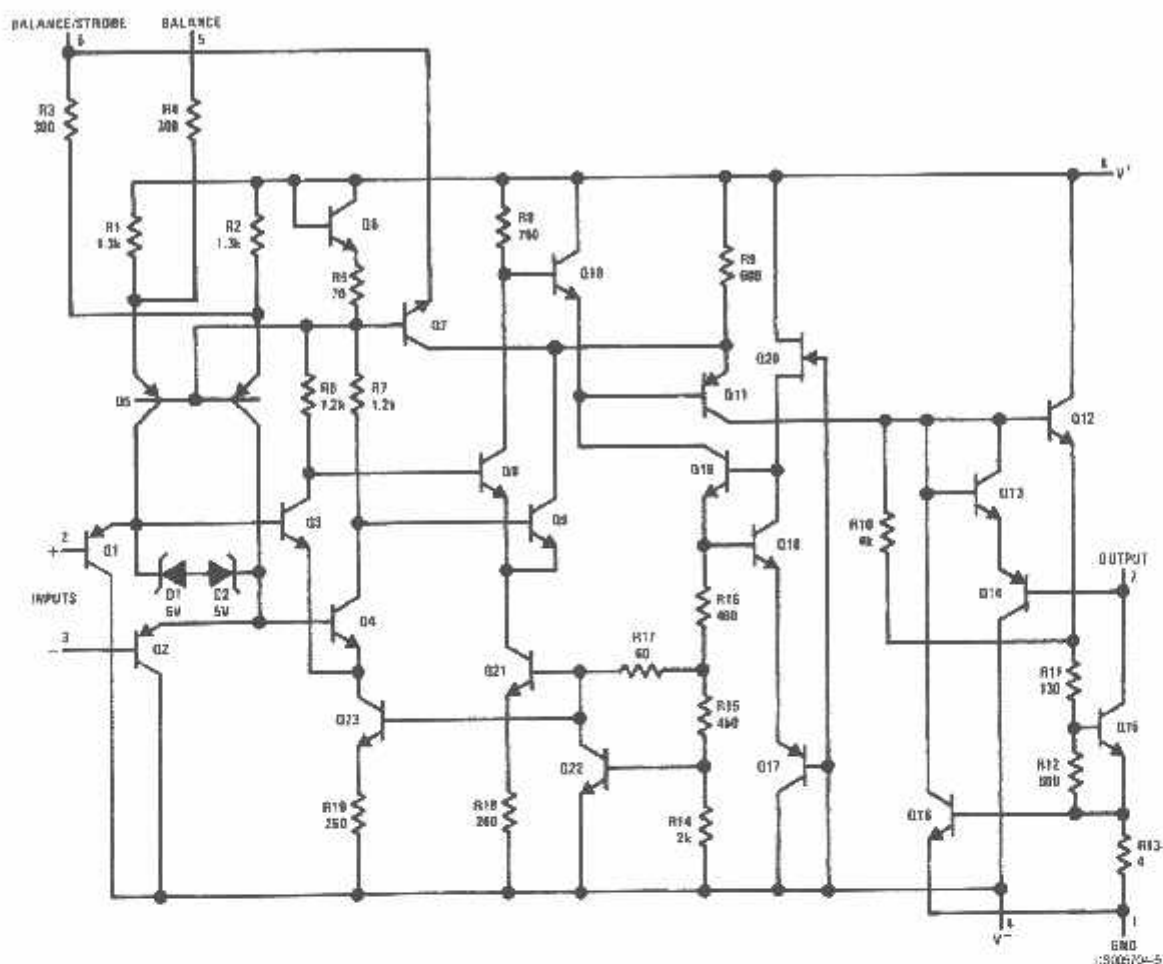
Switching Power Amplifier



DS005704-27

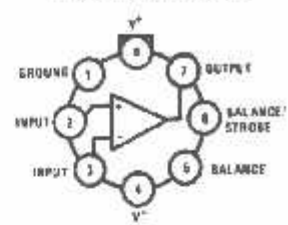


10.0 Schematic Diagram (Note 20)



1.0 Connection Diagrams

Metal Can Package



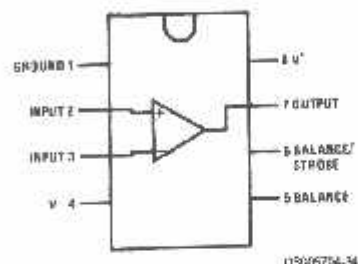
DS005704-B

a: Pin 4 connected to CS66

Top View

Order Number LM111H, LM111H/883(Note 21), LM211H or LM311H
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package

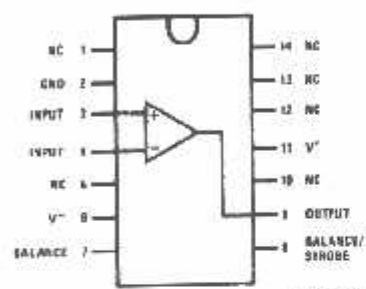


DS005704-34

Top View

Order Number LM111J-8, LM111J-8/883(Note 21),
LM311M, LM311MX or LM311N
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

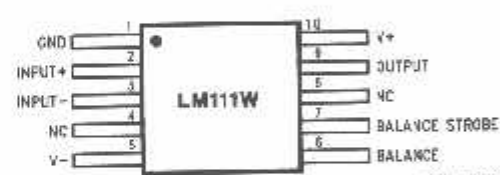
Dual-In-Line Package



DS005704-35

Top View

Order Number LM111J/883(Note 21)
See NS Package Number J14A or N14A

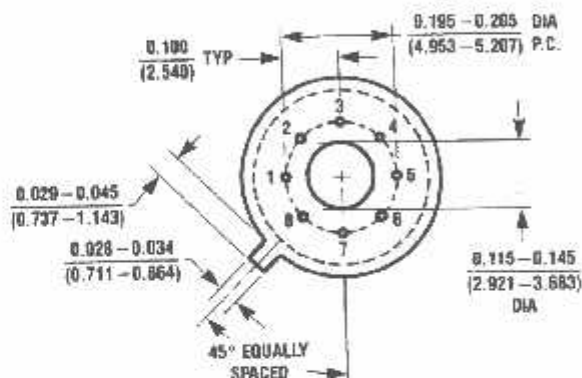
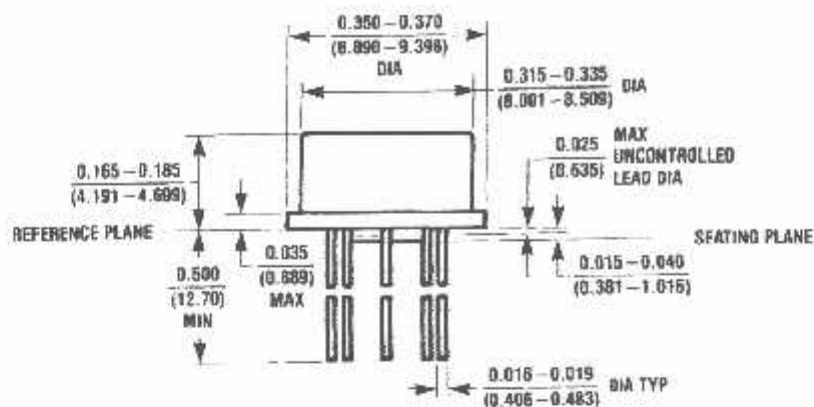


DS005704-39

Order Number LM111W/883(Note 21), LM111WG/883
See NS Package Number W10A, WG10A

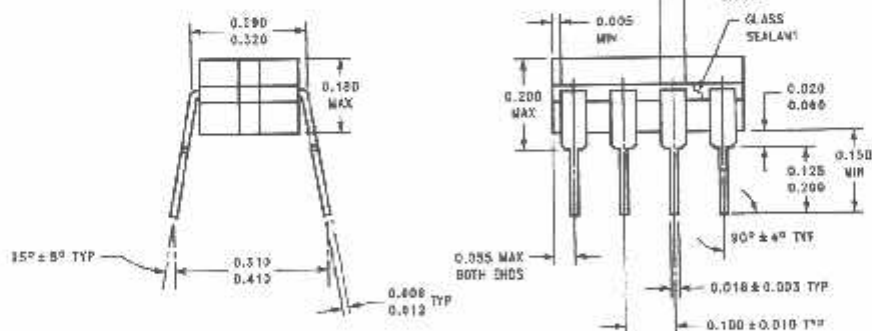
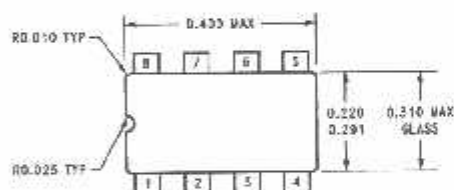
e 21: Also available per JMT18510/10304

12.0 Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



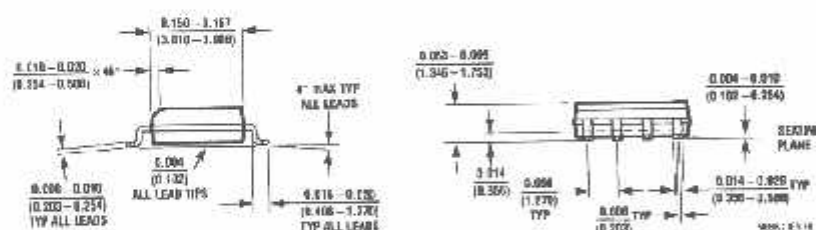
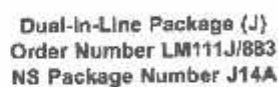
H08C (REV 6)

Metal Can Package (H)
 Order Number LM111H, LM111H/883, LM211H or LM311H
 NS Package Number H08C



J08A (REV K)

Cavity Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM111J-8, LM111J-8/883
 NS Package Number J08A



Dual-In-Line Package (M)
Order Number LM311M, LM311MX
NS Package Number M08A

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-8559
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 65 66
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 89 3508 6200
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7567

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

EE321 – Lab 6

Diodes, Part 3 — Diode and Zener Diode Circuits

The purpose of this lab is build and test some interesting non-linear circuits.

Zener Circuits

1. Construct a simple voltage regulator (similar to figure 3.34 in Sedra and Smith) to produce 8.2 V from a 15 Volt source, using your 1N5237 zener. Make the zener current equal to 20 mA, approximately. Sketch circuit and measure the output voltage with your digital multimeter.
2. Apply a 1 K Ω load to the regulator and measure the voltage change. What incremental zener resistance $r_z = \Delta v_z / \Delta i_z$ does this imply? Compare with spec.
3. Apply a 100 Ω load to the regulator. What happens, and why? In theory, what is the smallest load resistance that could be applied and still have the regulator output at approximately 8.2 volts? Test.
4. How much does the output voltage change when the supply voltage is varied from 13 to 17 volts with the 1 K Ω load in place? What percentage regulation $\Delta v_{out} / \Delta v_{in}$ does this correspond to? Calculate this regulation from r_z .
5. The circuit in Figure 1 can be used as a precision voltage source (Horowitz and Hill, 2nd ed., Fig. 6.21). In this circuit, the source of voltage for the zener regulator is the precision output voltage. The precision voltage is obtained by amplifying the zener voltage. Note that the -V connection of the op amp is connected to ground instead of -15 V. (This is to prevent the bootstrap circuit from turning the diode on in the forward direction.)

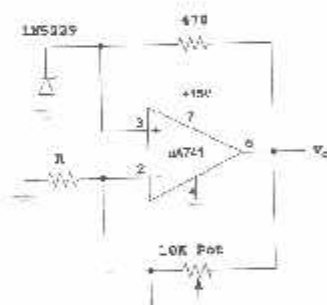


Figure 1.

- Adjust the pot to produce exactly 10.00 volts output, as measured with your digital multimeter. How close did you get?
- Test that the output voltage is constant independent of the +15 V supply voltage (within limits).
 - What are the limits? Explain why this makes sense.
 - How much did it change when the supply is within the limits?
- Measure the zener voltage and the value of the resistance of the pot. Is the pot resistance what it should be?

Limiting, Clipping, Clamping, and Doubling Circuits

6. Construct the double diode limiter (shown in Figure 2) using IN4001 diodes. Describe the output for a 1 V amplitude sine input. Use the X-Y mode to plot the transfer function. Observe both input and output on the same scale and note why the circuit is called a clipper.

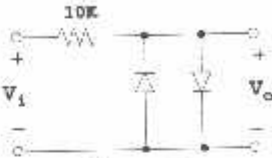


Figure 2.

7. Use two 4.3 V zeners in series as shown in Figure 3. With a larger input what does the circuit do? Plot the transfer function. Explain the transfer function (knowing the the zener voltage at 0.1 mA helps).

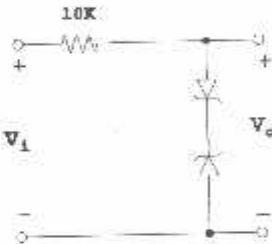


Figure 3.

8. Construct the clamped capacitor circuit (Figure 4) making sure the polarity of both the capacitor and the diode are correct. Test it with 4 V peak-to-peak sin input. Describe the effect of the circuit (account for the voltage drop across the diode in your explanation). Add an offset to the sine input. what is the effect? Why?

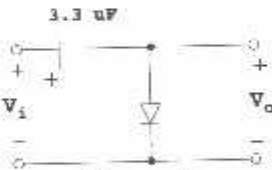


Figure 4.

9. Keep the clamped capacitor circuit and build the rectifier (Figure 5). Measure and explain the output of the rectifier, when the input is a 4 V p-p sine from the signal generator. Next use the output of the clamped capacitor as an input to the rectifier of Figure 5. Sketch the total circuit. Measure and explain the output. What would you call this circuit?

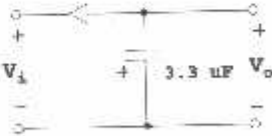


Figure 5.

Pre-Lab

1. Consider the zener regulator shown in Figure 3.34 in Sedra and Smith.

- Find R so that the zener current will be equal to 20 mA with no load (use the conditions of Part 1 of the lab).
- Add a 1 k Ω load to the circuit. Calculate the current in the load and the zener. If the zener resistance $r_z = 10\ \Omega$, how much will V_o change?
- Find r_z from the datasheet.
- What is the load regulation using r_z from the datasheet?
- What is the largest load current this regulator can deliver and still have at least 1 mA through the zener? What load resistance does this imply?
- What is the line regulation using r_z from the datasheet?

2. Consider the precision voltage source in Figure 1.

- Find R to give the proper gain (4.2 V in and 10.0 V out) with the pot set at its mid point.
- The circuit appears to have positive feedback. Why doesn't it? Hint - if the output changes will the voltage at pin 3 change?

3. From the data sheet find the voltage of a 4.3 V zener with only 0.1 mA through it. (Look at Fig 11 of the datasheet. The 4.3 V zener has 4.3 V at 20 mA).

EE 332/532 LABORATORY I

Diode Characteristics

Prelab:

1. Familiarize yourself with data sheets for the 1N4001 p-n junction diode, the MBR340 Schottky barrier diode, and an LED diode.
2. Design a circuit for measuring the I_D - V_D diode forward characteristics for $I_D \leq 5$ to 15 mA. Use an adjustable power supply whose voltage V_S can be varied in the range from 0 to 20 V.
3. Determine the small-signal model of a p-n junction diode and Schottky diode at $I_D \leq 1$ mA and 4 mA. Compare the small-signal resistance at two dc currents.
4. Using the data sheets for the p-n junction diode:
 - a) Determine the maximum forward current and the maximum reverse voltage.
 - b) Find a large-signal constant-voltage-drop model.
 - c) Find a large-signal constant-voltage-drop/constant-forward-resistance model for the diode current $1 \text{ mA} \leq I_D \leq 1 \text{ A}$.
5. Repeat step 4 for the MBR340 Schottky barrier diode and LED diode. Compare the large-signal models for the p-n junction diode, the Schottky diode, and the LED diode.

Experiments:

1. p-n Junction Diode (Fig. 1-a)
 - a) Measure and plot the I_D - V_D forward characteristics for the 1N4001 diode up to 12 mA.
 - b) Measure the small-signal resistance r_d at $I_D = 1$ mA and $I_D = 4$ mA.
2. Light-Emitting Diode (LED) (Fig. 1-b)
 - a) Connect in series a DC power supply, a 100 Ω (current-limiting) resistor, and a red LED.
 - b) Adjust the supply voltage until the first "visible light" is noticed. Measure the 'firing level' of I_D and V_D .
 - c) Increase the supply voltage until 'good brightness' is reached. Measure I_D and V_D at the bright light.
3. Schottky Diode

Repeat the Experiment 1 for the MBR340 Schottky diode.

Postlab:

Submit a written report.

1. Sketch the $I_D - V_D$ characteristics and calculate the small-signal resistance at $I_D = 1$ and 4 mA for the IN4001 diode from the slope of the $I_D - V$ curve. Compare this small-signal resistance to the one found in prelab and to the measured values.
2. Sketch the $I_D - V_D$ characteristics and calculate the small-signal resistance at $I_D = 1$ and 4 mA for the Schottky diode from the slope of the $I_D - V_D$ curve. Compare this small-signal resistance to the one found in prelab and to the measured values.
3. Compare the forward voltage drop for p-n junction diode, Schottky diode, and the LED.

Circuit Schematics:

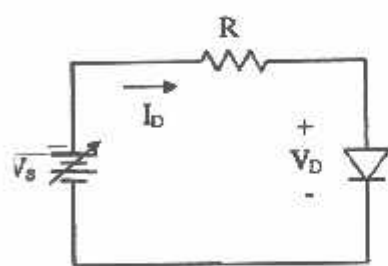


Figure 1-a: Diode Test Circuit

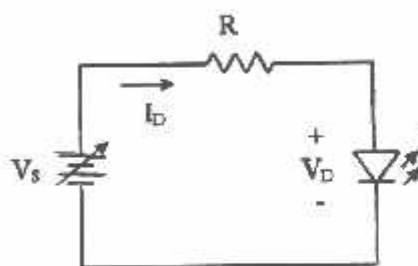


Figure 1-b: LED Test Circuit

Testing a diode with an Ohm-meter:

To verify if a diode is good or failed, measure a DC forward resistance (use 1 k Ω range) and a DC reverse resistance. A good diode will have a low forward resistance and a very large DC reverse resistance. Ratio of the reverse to forward resistances should be at least 1000:1.

EE 332/532 LABORATORY II

Diode Applications

Prelab:

1. Design a circuit for measuring the I_D - V_D reverse characteristic of the IN52318 Zener diode for $-10 \text{ mA} \leq I_D \leq 0$.
2. Design a transformer center-tapped rectifier such that $V_{DC} = 19.4 \text{ V}$, $P_o = 0.24 \text{ W}$, and the peak-to-peak ripple voltage $V_r \leq 0.6 \text{ V}$. The rms value of the voltage across each secondary of the transformer is $V_{sec(rms)} = 14. \text{ V}$ at $f = 60 \text{ Hz}$.
3. Design a Zener diode regulator to regulate the output voltage of the rectifier designed in prelab 2 such that $V_o = 5.1 \text{ V}$ and $I_L = 10 \text{ mA}$.

Experiments:

1. Measure and plot the I_D - V_D reverse characteristics for the IN52318 Zener diode (Fig. 2-a).
2. Build and test the transformer center-tapped rectifier (Fig. 2-b) designed in prelab 2. Measure the V_{DC} , I_L , and V_r .
3. Build and test the regulated power supply (Fig. 2-c) consisting of the filter capacitor, the transformer center-tapped rectifier, and the Zener diode regulator designed in prelab 3. Measure the V_o and I_L . Also, measure and compare the ripple voltage across the rectifier filter capacitor and the ripple voltage at the output of the regulator.
4. Measure the DC output voltage V_o versus the load current $I_L = 0$ to 10 mA (Fig. 2-c).
5. Reverse both diodes and the electrolytic capacitor and measure the output voltage.

Postlab:

Submit a written report.

1. Sketch the DC output voltage V_o versus the load current $I_L = 0$ to 10 mA from Exp. 4.
2. Calculate the load regulation of the power supply _____ where V_{NL} is the output voltage at no load, and V_{FL} is the output voltage at full load.
3. Explain why the Zener diode regulator reduces the ripple voltage.

Circuit Schematics:

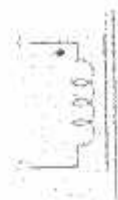
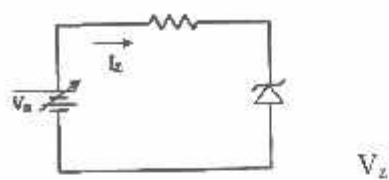


Figure 2-a: Zener Test Circuit

Figure 2-b: Transformer Center-Tapped Rectifier

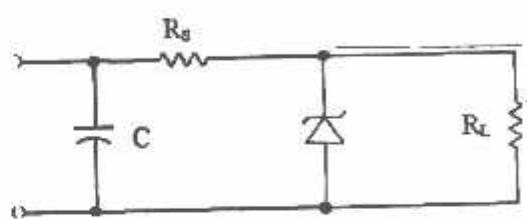


Figure 2-c: Zener Regulator Circuit

EE 332/532 LABORATORY III

MOSFET Characteristics and Biasing

Prelab:

1. Familiarize yourselves with data sheets for the 2N7000 MOSFET.
2. Design a circuit for biasing the enhancement n-channel 2N7000 MOSFET employing the voltage-divider bias to meet the following specifications:
 - a) $V_{DD} = 16\text{ V}$.
 - b) Set the operating Q-point at $I_D = 4\text{ mA}$ and $V_{DS} = 8\text{ V}$.
 - c) Current through the voltage divider $I_{VD} \leq 20\text{ }\mu\text{A}$, which is the current flowing through R_1 and R_2 .
3. Draw the DC load line for the specified case and label the slope and the crossing points.
4. Calculate g_m and r_o at $I_D = 1\text{ mA}$ and 4 mA assuming $V_A = -50\text{ V}$. How does the drain current affect g_m and r_o ?

Experiments:

1. Measure and plot the I_D - V_{GS} and I_D - V_{DS} characteristics of the 2N7000 MOSFET for $V_{GS} \leq 2.25\text{ V}$ and $V_{DS} \leq 10\text{ V}$ using the test circuit shown in Fig. 3-b. Measure the threshold voltage V_t of the MOSFET. Enter the collected data in the data table.
2. Observe and record the output characteristics of the MOSFET on the curve tracer.
3. Build and test the circuit for biasing the MOSFET designed in prelab 2 (Fig. 3-a). Measure V_S , V_G , V_D , V_{GS} , V_{DS} , V_{DG} , and I_D . Adjust the component values so that the given specifications are met.

Postlab:

Submit a written report.

1. Plot I_D - V_{GS} and I_D - V_{DS} characteristics of the 2N7000 MOSFET and determine g_m and r_o at $I_D = 4\text{ mA}$ from the slope of the measured characteristics.
2. Compare the theoretical and measured results, i.e., V_S , V_G , V_D , V_{GS} , V_{DS} , V_{DG} and I_D .
3. Compare I_D - V_{DS} curves obtained from curve tracer and measured point by point.

4. Give conclusions drawn from the experiments.

Circuit Schematics:

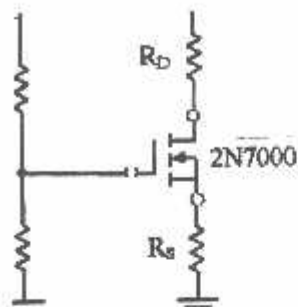


Figure 3-a: Voltage-Divider Self-Bias.

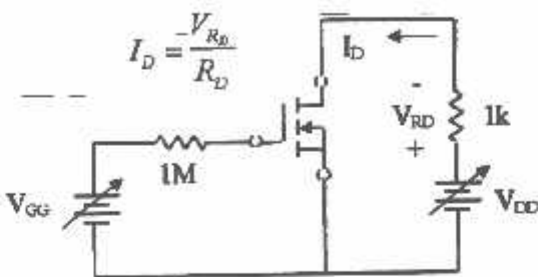


Figure 3-b: MOSFET Test Circuit.

Data Table: Measure and record I_D at the corresponding V_{GS} and V_{DS} .

	V _{DS}										
V _{GS}	0.1V	0.2V	0.3V	0.4V	0.5V	1.0V	2.0V	4.0V	6.0V	8.0V	10.0V
2.5V											
0.0V											
7.5V											
5.0V											

EE 332/532 LABORATORY IV

MOSFET Common-Source Amplifier

Prelab:

1. Design a common-source amplifier with the following specifications:
 - a) $|A_v| \geq 12$
 - b) $V_{out} \geq 2V @ f = 1 \text{ kHz}$
 - c) $R_{in} \geq 500 \text{ k}\Omega$
 - d) $R_o < 1 \text{ k}\Omega$
 - e) $R_L = 10 \text{ k}\Omega$
 - f) $R_{GEN} = 1 \text{ k}\Omega$
 - g) $12 \text{ V} \leq V_{DD} \leq 18 \text{ V}$
 - h) Reactances of the coupling and by-pass capacitors to be less than 10Ω at 1 kHz .
2. Draw the dc and ac load lines for the designed amplifier.

Experiments:

1. Build and test the amplifier designed in prelab 1. Measure I_D , V_{GS} , V_{DS} , R_i and R_o . Adjust the component values so that the specifications are met
2. Measure the maximum output voltage amplitude $V_{out(max)}$ without distortion.

Figure 4: Common-Source Amplifier

Postlab:

1. Compare the theoretical and measured results, i.e., I_D , V_{GS} , V_{DS} , A_v , R_o , R_{in} and $V_{out(max)}$.
2. Give conclusions drawn from the experiments.

EE 332/532 LABORATORY V

BJT Characteristics and Biasing

Prelab:

1. Familiarize yourselves with data sheets for the 2N3904 BJT.
2. Design a circuit for biasing the npn 2N3904 BJT employing the voltage-divider bias to meet the following specifications:
 - a) $V_{CC} = 12\text{ V}$.
 - b) Set the operating Q-point at $I_C = 1\text{ mA}$ and $V_{CE} = 6\text{ V}$.
3. Draw the DC load line for the specified case.
1. Calculate g_m , r_{π} , and r_o at $I_C = 1\text{ mA}$ and 4 mA assuming $V_A = -100\text{ V}$.

Experiments

1. Measure and plot I_C - V_{BE} and I_C - V_{CE} characteristics of the 2N3904 BJT for and $V_{BE} \leq 10\text{ V}$ using the test circuit shown in Figure 5-b. Enter the collected data in the data table provided, then use that data to plot the characteristic curves.
2. Observe and record the output characteristics of the BJT on the curve tracer.
3. Build and test the circuit for biasing the BJT designed in prelab 2. Measure V_E , V_B , V_C , V_{BE} , V_{CE} , V_{CB} and I_C . Adjust the component values so that the given specifications are met.

Postlab

Submit a written report.

1. Plot I_C - V_{BE} characteristics of the 2N3904 BJT. Determine g_m and r_o at $I_C = 4\text{ mA}$ from the slope of the measured characteristics. Compare g_m and r_o at $I_C = 4\text{ mA}$ which were determined from the slope of the measured characteristics to the calculated values arrived in prelab.
2. Compare the theoretical and measured results for V_E , V_B , V_C , V_{BE} , V_{CB} , V_{CE} , and I_C .
3. Compare I_C - V_{CE} curves obtained from curve tracer and measured point-by-point

Testing a BJT with an Ohm-meter

- Connect the positive lead of an ohm-meter to the base of an npn transistor and the negative lead to the collector and then to the emitter to measure the dc forward resistance of the junctions. Both of these resistances must be low for a good transistor.
- Connect the negative lead of an ohm-meter to the base of an npn transistor and the positive lead to the collector and then to the emitter to measure the dc reverse resistance of the junctions. Both of these resistances must be very high for a good transistor. Ratio of the reverse to forward resistance should be greater than 1000:1.

Circuit Schematics

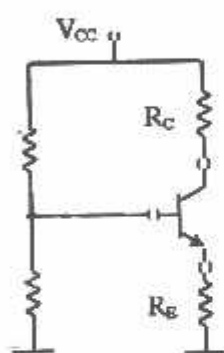


Figure 5-a: Voltage-Divider Bias of BJT.

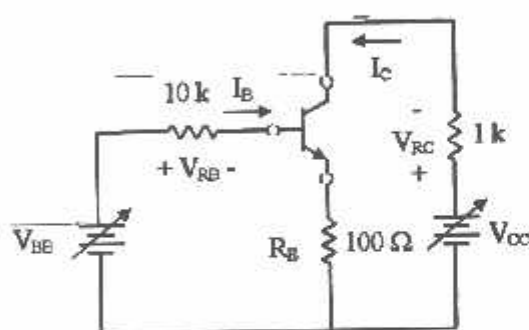


Figure 5-b: Test Circuit for the BJT.

Data Table: Measure and record I_C at the corresponding I_B and V_{CE} .

I_B	V_{CE}						
	0.5V	1.0V	2.0V	4.0V	6.0V	8.0V	10.0V
50 μA							
40 μA							
30 μA							
20 μA							
10 μA							
5 μA							

EE 332/532 LABORATORY VI

Common-Collector Amplifier

Prelab:

- Design a common-collector amplifier using the 2N3904 BJT to meet the following specifications:
 - $A_v \geq 0.90$
 - $V_{om} \geq 1 \text{ V @ } f = \text{kHz}$
 - $R_{in} \geq 15 \text{ k}\Omega$
 - $R_o \leq 25 \Omega$
 - $R_L = 1 \text{ k}\Omega$
 - $R_S = 1 \text{ k}\Omega$
 - $6 \text{ V} \leq V_{CC} \leq 10 \text{ V}$
 - Reactances of the coupling capacitors are to be less than 10Ω at 1 KHz .
- Draw the dc and ac load lines for the designed amplifier.

Experiments:

- Build and test the amplifier designed in prelab 1. Measure I_C , V_{CE} , A_v , R_o and R_{in} . Adjust the component values so that the specifications are met.
- Measure $V_{om(max)}$ without distortion.

Figure 6: Common-Collector Amplifier

Postlab:

Submit a written report.

- Compare the small-signal models of MOSFETs and BJTs.
- Compare the theoretical and measured results for V_{CE} , I_C , A_v , R_o , and R_{in} .
- Give conclusions drawn from the experiments.

Undergraduate Lab

Electrical Engineering Department

University of Pennsylvania

The Transistor Curve Tracer

I. Introduction

It is frequently necessary to physically measure transistor parameters such as current gain, breakdown voltages, and impedance. A transistor curve tracer is an instrument designed to provide the circuit conditions required to make these measurements.

One parameter of particular importance is the beta (β), or dc current gain, of the

transistor. This discussion addresses this particular measurement.

II. Principle of Operation

The curve tracer can generate and display a family of curves of collector current, I_c , versus collector-to-emitter voltage, V_{CE} , for various values of base current, I_B . From this display, the current gain, β , can be directly determined.

Three basic functional circuits are used to generate this display:

1. a sweep voltage generator for control of the collector voltage,
2. a base current source which can be controlled to provide a number of equal increments of base currents with each sweep of the voltage generator,
3. a timing source to change the base current at the start of each voltage sweep.

Figure 1 shows the waveform of the sweep voltage generator, V_s , each sweep occurring with a time period, T . This is the collector supply voltage which is repetitively applied to the transistor. Refer to Figure 3 and note that the collector voltage, V_{ce} , will provide the horizontal (x-axis) sweep of an oscilloscope.

Figure 2 shows the output of the base current source. Note that for each consecutive voltage sweep the base current, I_B , is increased in equal incremental steps, with the steps synchronized to the beginning of each collector voltage sweep. Usually, 10 or 12 increments of base current are

used for the display. As the last increment period ends, the base current generator repeats the step sequence, providing a continuous stable display.

Curve tracers in the RCA Lab use the 60 Hz power line frequency as the synchronizing signal for the collector sweep voltage and base current steps.

Figure 3 is a simplified diagram showing how the curve tracer display is generated. The **bold lettering** indicates the selector switches on the front panel of the curve tracer which are used to set the proper test conditions. The conditions shown in Figures 1, 2, and 3,

apply to a npn transistor; for a pnp transistor, opposite polarity (negative) voltage and currents would be selected.

The collector-to-emitter voltage, V_{ce} , provides the horizontal sweep, while the voltage across the current sensing resistor, R_c , which is proportional to collector current, provides the vertical sweep, resulting in a family of curves of I_c versus V_{ce} for a series of equal increment changes in base current.

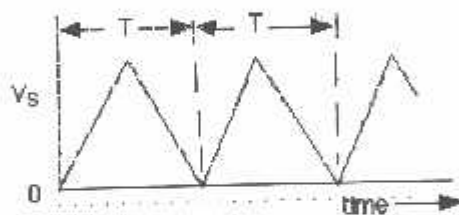


Figure 1 Collector Sweep voltage waveform

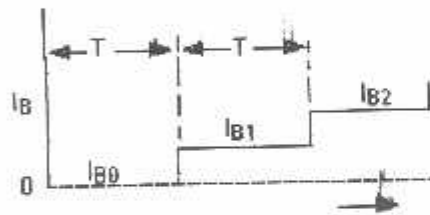
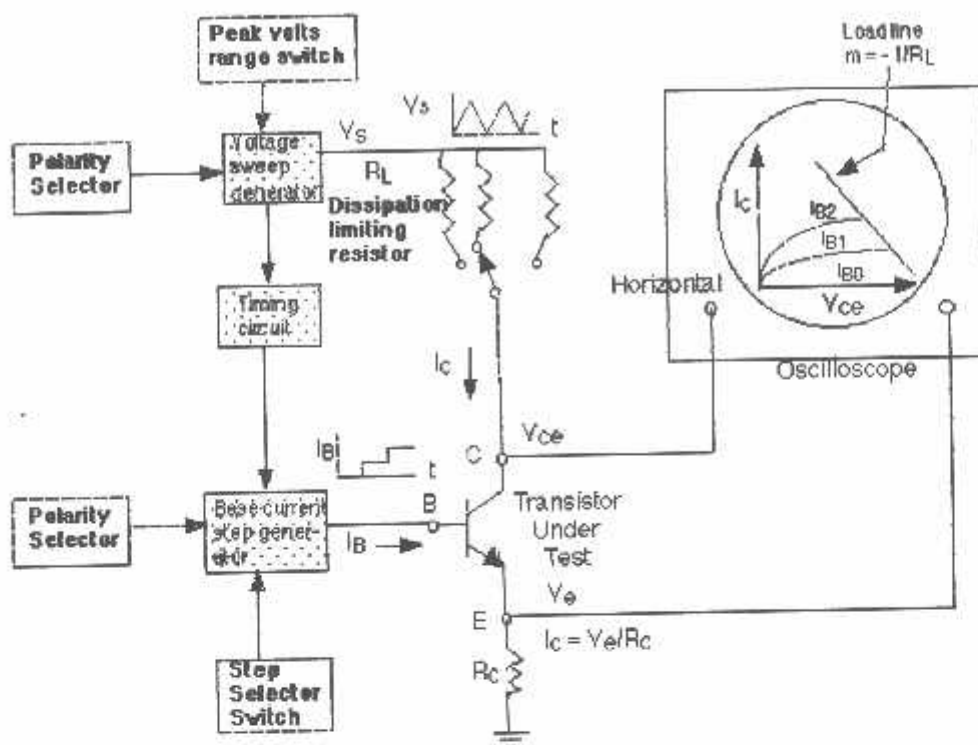


Figure 2 Base current



Note: Front panel selector switches are printed in bold lettering.

Figure 3. A Simplified Block Diagram of a Basic Transistor Curve Tracer

III. Determining Current Gain (β)

The display shown in Figure 4 is the characteristic for an npn transistor.

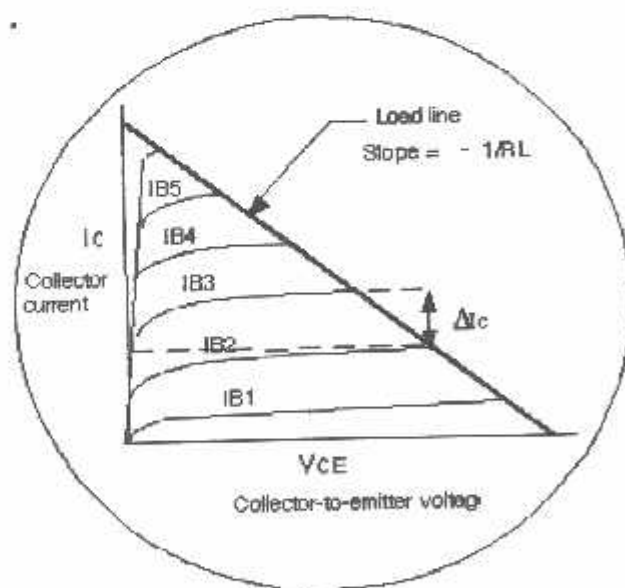


Figure 4. Characteristics of an npn transistor

The current gain of the transistor is determined from:

$$\beta = \text{current gain} = \Delta I_C / \Delta I_B$$

where ΔI_B is the setting of the **Step Selector** switch.

The slope of the load line is determined by the dissipation limiting resistor, R_L , selected in the **Collector Sweep** control section. This resistor must be selected so that the maximum allowable collector current, I_C , specified for the transistor is not exceeded for $V_{CE} = 0$ Volts.

If the data sheet for the transistor is not readily available, make a conservative estimate based on the size of the transistor. Small transistors don't have much heat dissipation capability so they should be limited to about 50 mA and 40 V; higher power transistors usually have a body which allows the unit to be attached to a heat sink. You can assume that they can handle 1 or 2 amps at 40 V.

β will vary depending on the collector current drawn, decreasing as the current increases. The gain should be measured in the voltage/current region in which the transistor will be operating.

Transistors under test can become hot. Use caution in handling the transistor.

IV. Display Examples

Example 1

NPN Silicon Transistor Type 2N3904

Maximum Ratings:

Collector-Emitter Voltage 40 V

Continuous Collector Current 200 mA

Curve Tracer Settings

Collector Sweep

Peak Volts Range 0 - 20

Peak Volts 0 (full CCW)

Polarity + (NPN)

Dissipation Resistor 200 Ohms

Adjust the spot intensity to a reasonable level to avoid burning the screen.
Focus the spot using focus and astigmatism controls.

Vertical Scale Collector Current 10
mA/div

Horizontal Scale Collector Volts 2 V/div

The vertical and horizontal control blocks have spot position controls.
Since this transistor is a n NPN type, the VCE axis will extend from the left
to the right of the display, and IC will extend upward. Position the spot at
the lower left corner of the grid as the zero position.

Base Step Generator

Polarity +

Step selector05 mA /step

Series Resistor Not applicable.

Display settings Repetitive, 240 steps/sec

Transistor Test Panel Emitter grounded

With test panel Selector Switch in the center position, insert the transistor
leads into either A or B socket, observing the designations for C, B, and E.
The Configuration switch should be in the Emitter Grounded position.
Select the appropriate transistor and increase the collector voltage to
maximum using the variable voltage control in the Collector Sweep control
block. The resulting display should be similar to that shown in Figure 1.
Since the direction of current flow in a pnp transistor is the reverse of that
for an npn transistor, the collector-to-emitter voltage and the direction of
the base current must be reversed, resulting in the characteristic shown in
Figure 4.

Example 2

PNP Silicon Transistor Type 2N3906

Maximum Ratings:

Collector-to-emitter voltage - 40 V Continuous collector current
 - 200 mA

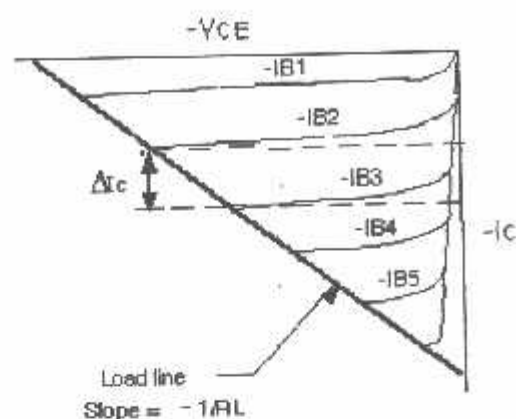


Figure 5 - PNP Transistor Characteristic

The 2N3906 is the complementary transistor to the 2N3904. The current gains are the same order of magnitude, as are the absolute values of the maximum ratings. The difference is in the polarities associated with applied voltages and in current flow direction.

Being complementary, the settings used for the 2N3904 may be used for the 2N3906, except that the polarities of the collector voltage and the base current flow direction must be reversed. With the transistor selector switch of the **Test Panel** in the center position, the 2N3904 may be removed and replaced with the 2N3906. Switching the polarities of the base current steps in the **Base Step Generator** block and the collector voltage in the **Collector Sweep** are the only setting changes required. Since the voltages and currents are reversed, select the upper right corner of the grid as the starting position. Select the transistor and increase the peak collector voltage to maximum. The display should be similar to that shown in Figure 5.

Example 3 2N3055 NPN Power Transistor

One of the more frequent measurements of β_{ac} are made on the 2N3055 NPN power transistor whose absolute maximum ratings are:

Collector-to-emitter voltage 60 V
 Continuous collector current 15 A
 Total device dissipation 115 W

An outline of the 2N3055 is shown in Figure 6.

Figure 6 - Bottom View of 2N3055 Transistor

Curve Tracer Settings

Collector Sweep

Peak Volts Range 0 - 20

Polarity + (NPN)

Dissipation Resistor 2 Ohms

Vertical Scale 500 mA/div

Horizontal Scale 2 V/div

Base Step Generator

Polarity +

Step Selector 10 mA/step

Test Panel Emitter grounded

Caution : Under these test conditions the 2N3055 can become extremely hot, and a severe burn can result if touched !!!!